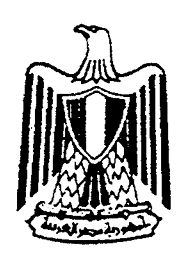


جمهورية مصر العربية
وزارة الموارد المائية والرى
المركز القومى لبحوث المياه

الكود المصرى
للموارد المائية وأعمال الرى

المجلد الثالث

المنشآت المدنية للرى والصرف

(الجزء الأول)

اللجنة الدائمة

لإعداد الكود المصرى للموارد المائية وأعمال الرى

الطبعة الأولى
عام ٢٠٠٣

تقديم

لما كان الماء هو عصب الحياة وركيزة تقدم الشعوب وأنه ندرة فى منطقتنا العربية ويتزايد الطلب عليه يوماً بعد يوم فقد وجب علينا أن نرفع دوماً من كفاءة إدارته لنعظم عوائده ونحد من فواقده.

لذلك رأت وزارة الموارد المائية والرى إعداد هذا الكود ليكون دستوراً للعمل ودليلاً يهتدى به ويحتكم إليه. ولقد راعت الوزارة فى إعداده أن يضم نظماً موحدة لإدارة شبكات الرى والصرف وتنفيذ مشروعاتها، وأن يكون شاملاً لأعمال حماية وتنمية السواحل البحرية، وأن يتضمن تحديداً لأساليب الإختبار والمعايير القياسية الخاصة بتصميم وتنفيذ الأعمال وإختبار مواد الإنشاء فضلاً عن تضمينه ضوابط لأحكام الرقابة على كافة الأعمال الإنشائية، وعلى أعمال إدارة شبكات الرى والصرف، والأعمال الميكانيكية والكهربية، وأعمال حماية الشواطئ، وفى نفس الوقت يشكل مرجعاً يحتكم إليه فى حسم أى خلافات قد تنشأ بين أجهزة الوزارة والمتعاملين معها من وزارات وهيئات وأفراد. وأن يكون عاملا للحد من الأخطار حماية للمجتمع وللعاملين فى هذا المجال.

وقد شارك فى إعداد هذا الكود نحو ثمانين متخصصاً من الأساتذة وكبار المهندسين من ذوى الخبرات الطويلة المشهود لهم فى مجال أعمال الوزارة سواء من داخلها أو من الجامعات المصرية المختلفة. ولقد تحرينا قبل إصدار هذا الكود أقصى درجات التدقيق كما تم طرحه على مجتمع مستخدمى المياه وعلى مختلف القطاعات العاملة فى المجالات ذات الصلة بموضوعاته طلباً لمشورتهم ومقترحاتهم فى مضمونه، وتم الإسترشاد بما تلقيناه منهم جميعاً من مقترحات بناءة ومفيدة.

ونأمل أن يساهم هذا الكود فى رفع مستوى الأداء لتعظيم الفائدة من مواردنا المائية.

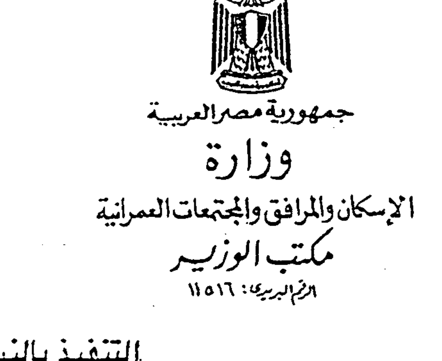
والله نسأل أن يلهمنا جميعاً سواء السبيل وأن يرشدنا لما فيه الخير لأمتنا ولوطننا العزيز.

وبالله التوفيق.

وزير الموارد المائية والرى

أستاذ دكتور مهندس / محمود عبدالحليم أبو زيد

بسم الله الرحمن الرحيم



قرار وزاري
رقم (٣٥٠) لسنة ٢٠٠٣
في شأن
وضع أسس التصميم وشروط
التنفيذ بالنسبة لأعمال الموارد المائية ومتطلبات الري والصرف

وزير الإسكان والمرافق والمجتمعات العمرانية

- بعد الاطلاع على القانون رقم (٦) لسنة ١٩٦٤ بشأن أسس تصميم وشروط تنفيذ الأعمال الإنشائية وأعمال البناء .
- وعلي القرار الوزاري رقم ١٤٨ لسنة ١٩٩١ الصادر من وزير الأشغال العامة والموارد المائية بخصوص تشكيل اللجنة العليا للتنسيق بشأن إعداد الكود المصري في مجال أنشطة وزارة الأشغال العامة والموارد المائية.
- وعلي القرار الوزاري رقم ٢٨٥ لسنة ١٩٩١ الصادر من وزير الأشغال العامة والموارد المائية بشأن تشكيل اللجان الفرعية المختصة بإعداد بنود الكود المصري لأعمال الموارد المائية ومتطلبات الري والصرف .
- وعلي القرار الوزاري رقم ٣١٧ لسنة ١٩٩٣ الصادر من وزير الأشغال العامة والموارد المائية بشأن تشكيل اللجنة الفرعية التخصصية لأعداد بنود الكود المصري في مجال حماية الشواطئ .
- وعلي القرار الوزاري ي رقم ٢٣٨ لسنة ١٩٩٤ الصادر من وزير الأشغال العامة والموارد المائية المتضمن تشكيل اللجنة الدائمة للكود المصري لأعمال الموارد المائية ومتطلبات الري والصرف .
- وعلي كتاب السيد الدكتور وزير الموارد المائية والري .

بسم الله الرحمن الرحيم



جمهورية مصر العربية
وزارة
الإسكان والمرافق والمجتمعات العمرانية
مكتب الوزير
الرقم البريدي: ١١٥١٦

قـــــرار

مادة (١): يتم العمل بأسس تصميم وشروط تنفيذ جميع أعمال الموارد المائية ومتطلبات الرى والصرف والمرفقه بهذا القرار.

مادة (٢): تلتزم الجهات المعنيه والمذكورة فى القانون رقم ٦ لسنة ١٩٦٤ بتنفيذ ماجاء بهذا القرار.

مادة (٣): تتولى اللجنة الدائمة المشكلة لهذا الغرض بوزارة الموارد المائية والرى إقتراح التعديلات التى تراها لازمة بهدف التحديث كلما دعت الحاجة لذلك .. وتعتبر التعديلات بعد إصدارها جزءاً لايتجزأ منه.

مادة (٤): تتولى وزارة الموارد المائية والرى نشر ماجاء بهذه الأسس والتعريف بها والتدريب عليها.

مادة (٥): ينشر هذا القرار فى الوقائع المصرية ويعتبر نافذاً من تاريخ النشر.

صدر فى ٢/١٢/٢٠٠٣

وزير الإسكان والمرافق
والمجتمعات العمرانية

(م/ محمد إبراهيم سليمان)

شكر وعرفان

بسم الله الرحمن الرحيم

"وقالوا الحمد لله الذى هدانا لهذا وما كنا لنهتدى لولا أن هدانا الله ".

صدق الله العظيم

بإتمام هذا العمل الكبير الذى بدأته نخبة متميزة من العلماء الأجلاء ومن كبار مهندسى الرى المصرى منذ ما يـربو على العشر سنوات تواكبت فيها جهودهم الخالصة مع فكرهم الخلاق وفى إطار من التفانى والمثابرة والتصـميم ليضـعوا الأسس والمعايير للأجيال القادمة لتنظيم ولضبط ولترشيد إستخدام المياه ... تكون هذه النخـبة قد خطت بمصرنا إلى عهد جديد يتسم بتأصيل المعرفة فى التعامل مع أهم مورد فى الحياه حبانا به الله . فلهم كل الشكر والثناء على ما قدموه لوطنهم من عطاء ، والله على حسن مثوبتهم لقدير .

وبمـا أن الفضل يجب أن يرد إلى صانعيه .. فيتوجب علينا أن نذكر بكل العرفان والتقدير كل من آزروا هذا العمـل وهـيأوا له سبل الإنجاز . فما كان لهذا العمل أن يبدأ دون إشارة البدء التى أطلقها السيد المهندس الكبـير الوزيـر/ عصام عبدالحميد راضى الذى سارع بالإستجابة وبتوفير كافة الإمكانات له وبذلك إستحق وبكـل الحـق فضـل ريادة هذا العمل .. كذلك كان للزميل العزيز الأستاذ الدكتور الوزير / محمد عبدالهادى راضـى طيـب الله ثـراه مآثـره ، فلقد كان لجهده وفكره الثاقب أعظم الأثر فى التخطيط البناء له وذلك عـندما شـغل عضوية أول تشكيل للجنة تنسيق الكود كما كان لرعايته الدائمة له عندما تقلد منصب رئاسة وزارة الأشـغال العامة والموارد المائية أبعد الأثر لدفع العمل لأعلى المستويات ... وأخيراً وليس آخراً لا بد أن ننوه بالدعم الكبير الذى قدمه ويقدمه الأستاذ الدكتور الوزير/ محمود عبدالحليم أبو زيد الذى قيد الله أن يتم فضله وأن تتم الطبعة الأولى لكود الموارد المائية وأعمال الرى بحسن توجيهه وبفضل إرشاده .

وقل إعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله والمؤمنون .

"ربنا لا تزغ قلوبنا بعد إذ هديتنا" "ربنا هيئ لنا من أمرنا رشدا"

يونيو ٢٠٠٣

مقرر لجنة تنسيق

الكود المصرى للموارد المائية وأعمال الرى

أ.د/ أحمد عبدالوهاب خفاجى

أسماء السادة المشاركين فى إعداد
الكود المصرى للموارد المائية وأعمال الرى

أعد هذا الكود بمعرفة اللجان التالية:

أولاً: اللجنة الدائمة للكود المصرى للموارد المائية وأعمال الرى

ثانياً: لجنة تنسيق الكود المصرى للموارد المائية وأعمال الرى

ثالثاً: اللجان التخصصية وهى:

١. لجنة إدارة شبكات الرى والصرف
٢. لجنة المنشآت المدنية للرى والصرف
٣. لجنة الأعمال الميكانيكية والكهربائية للرى والصرف
٤. لجنة تقنيات حماية الشواطئ البحرية

** وقد تشكلت اللجنة الدائمة برئاسة السيد الدكتور الوزير واشترك فى عضويتها منذ بدء تشكيلها للمرة الأولى وحتى تشكيلها الحالى - السادة الأتية أسماؤهم طبقا للترتيب الأبجدى وهم:

أ.د/ أحمد عبد الوهاب خفاجى — مقرراً
أ.د/ أحمد فخرى خطاب
م/ احمد جابر بركات
م/ أنور محمد حجازى
م/ حسين سعيد علوان
أ.د/ سعد ابراهيم الخوالقة
أ.د/ شارل شكرى سكلا
أ.د/ طلعت محمد عويس
أ.د/ عبد الرحمن صادق بازرعة
أ.د/ عبد الرحمن حلمى الرملى — مقرراً
م/ عبد الغنى حسن السيد
أ.د/ محمد بهاء الدين أحمد
أ.د/ محمد فائق عبد ربه
أ.د/ محمد مصطفى عطعوط
م/ محمود سعد الدين الجندى
أ.د/ مصطفى توفيق جاويش
م/ مصطفى محمود القاضى
أ.د/ منى مصطفى القاضى
م/ نبيل فوزى ناشد
أ.د/ نزيه أسعد يونان

** شغل عضوية لجنة التنسيق منذ بدء تكوينها وحتى تشكيلها الحالى كل من السادة الآتية أسماؤهم طبقا للترتيب الأبجدى:

أ.د/ أحمد عبد الوهاب خفاجي   مقرراً

أ.د/ أحمد فخرى خطاب

أ.د/ عبد المعطى حسن هيكل

أ.د/ محمد رفيق عبد البارى

أ.د/ محمد عبد الهادى راضى

أ.د/ مصطفى توفيق جاويش

د.م/ محمد إسماعيل أبو خشبة   (أمانة فنية)

د.م/ ياسر عبد العزيز الحاكم   (أمانة فنية)

أسماء السادة المشاركين فى إعداد المجلدين الثالث والرابع

** ساهم فى إعداد المادة العلمية لهذين المجلدين وحققها وراجعها وصاغها كل من السادة الآتية أسماؤهم – طبقاً للترتيب الأبجدى:

- أ.د/ أحمد فخرى خطاب
م/ توفيق على ابراهيم عيد
أ.د/ جمال صادق عبيد
م/ حسين أحمد عبد الحليم لاشين
م/ حسن حسين شومان
أ.د/ حسن على ابراهيم
أ.د/ سعد ابراهيم الخوالقه
أ.د/ عبد الرحمن صادق بازرعة
أ.د/ عبد الله صادق بازرعة
أ.د/ على محمد طلعت
أ.د/ كمال حفنى حسن
أ.د/ محمد بهاء الدين أحمد
أ.د/ محمد حمدى الكاتب
د/ محمد عادل أحمد عبد المجيد
أ.د/ محمد عبد الوهاب عامر
أ.د/ محمد محمود جاسر
أ.د/ محمد نيازى حماد
م/ محمود سعد الدين الجندى مقرراً
م/ محمود محمد على
أ.د/ مصطفى توفيق جاويش
أ.د/ مصطفى كامل متولى زيدان
م/ مصطفى محمد عتيبة
م/ ميشيل حكيم السعيد
م/ نجيب فهمى سعيد
أ.د/ نزيه أسعد يونان
م/ وليم كامل شنودة

الكود المصرى للموارد المائية وأعمال الرى

يقع الكود المصرى للموارد المائية وأعمال الرى فى سبعة مجلدات هى على النحو التالى:

المجلد الأول : إدارة شبكات الرى والصرف (الجزء الأول) ويشمل:

مقدمة : تقديم لمرفق الرى و الصرف، وأجهزة الوزارة، ومسئولياتها
الباب الأول : رى الأراضي الزراعية
الباب الثانى : صرف الأراضى الزراعية

المجلد الثانى : إدارة شبكات الرى والصرف (الجزء الثانى) ويشمل:

الباب الثالث : التوسع الأفقى
الباب الرابع : تنمية الموارد المائية
الباب الخامس : أعمال الصيانة
الباب السادس : إدارة هيدرولوجيا السيول
الباب السابع : الأعمال المساحية

المجلد الثالث : المنشآت المدنية للرى والصرف (الجزء الأول) ويشمل:

الباب الأول : شبكات الرى المبطنة
الباب الثانى : المنشآت المائية المتقاطعة
الباب الثالث : المفيضات والمصبات
الباب الرابع : الهدارات
الباب الخامس : القناطر والبوابات
الباب السادس : السدود
الباب السابع : الأهوسة الملاحية
الباب الثامن : محطات توليد القوى الكهرومائية

المجلد الرابع : المنشآت المدنية للرى والصرف (الجزء الثانى) ويشمل :

الباب التاسع : محطات الطلمبات
الباب العاشر : الآبار
الباب الحادى عشر : الكبارى
الباب الثانى عشر : الأنفاق
ملحق م١ : خرسانة المنشآت المائية

المجلد الخامس : الأعمال الميكانيكية للرى والصرف ويشمل:

الباب الأول : المضخات
الباب الثانى : محركات الإحتراق الداخلى
الباب الثالث : معدات نقل الحركة والقدرة
الباب الرابع : المحابس والبوابات
الباب الخامس : الوقاية الميكانيكية والكيماوية والحماية الكاثودية
الباب السادس : اختبار واختيار المواد
الباب السابع : المعدات الميكانيكية لصيانة المجارى المائية
الباب الثامن : معدات الرى المتطور
الباب التاسع : معدات مراقبة نوعية المياه فى المجارى المائية

المجلد السادس : الأعمال الكهربائية للرى والصرف ويشمل:

الباب الأول : المحركات الكهربية
الباب الثانى : المحولات الكهربية وملحقاتها
الباب الثالث : المفاتيح وتركيبات التوصيلات الكهربائية والوقاية الكهربائية
الباب الرابع : دوائر وأجهزة التحكم فى المحركات الكهربية
الباب الخامس : شروط تنفيذ الأعمال الكهربية
الباب السادس : منظومات طوارىء التغذية الكهربية
الباب السابع : التأريض
الباب الثامن : معدات الرى التى تعمل بالكهرباء

المجلد السابع: تقنيات حماية الشواطىء البحرية ويشمل:

الباب الأول : العوامل الطبيعية المؤثرة على المنطقة الساحلية والشاطئية

الباب الثانى : البحوث والدراسات الحقلية وأعمال النماذج الهيدروليكية الطبيعية والرياضية

الباب الثالث : تخطيط منشآت حماية الشواطئ وتأثيرها على المنطقة الشاطئية

الباب الرابع : تصميم منشآت الحماية

الباب الخامس : منشآت حماية الشواطئ وصيانتها

فهرس المجلد الثالث
المنشآت المدنية للرى والصرف (الجزء الأول)

الباب الأول : شبكات الرى المبطنة Lined Irrigation Network

الباب الثانى: المنشآت المائية المتقاطعة Water Crossing Structures

الباب الثالث : المفيضات والمصبات Escapes and Outlets

الباب الرابع : الهدارات Weirs

الباب الخامس: القناطر والبوابات Regulators and Gates

الباب السادس: السدودDams

الباب السابع: الأهوسة الملاحية Navigation Locks

الباب الثامن: محطات توليد القوى الكهرومائية Hydraulic Power Plants

فهرس المجلد الرابع
المنشآت المدنية للرى والصرف (الجزء الثانى)

الباب التاسع محطات الطلمبات Pump Stations

الباب العاشر الآبار **Wells**

الباب الحادى عشر الكبارى Bridges

الباب الثانى عشر الأنفاق Tunnels

الباب الأول
شبكات الرى المبطنة Lined Irrigation Networks

١-١ فواقد التسرب وسياسة تبطين الترع

تتعرض نسبة كبيرة من مياه الرى المنطلقة فى الترع والمساقى إلى الحقول والمزارع للفقد بصور مختلفة منها البخر والتسرب. ولما كان من اهتمامات المسئولين عن استخدامات مياه الرى تجنب هذه الفواقد والوصول بها إلى أقل قدر ممكن فقد كان التفكير فى الأعمال اللازمة لتحقيق هذه الأغراض ضروريا وذلك بتبطين مجارى الرى (الترع والمساقى بمختلف درجاتها) أو باستخدام شبكات من خطوط المواسير لنقل وتوزيع مياه الرى.

وتختلف تقديرات نسبة الفاقد من المياه باختلاف الظروف الهيدروليكية لشبكات الرى الحاملة لهذه المياه. وقد تصل الفواقد خلال عمليات انتقال المياه للحقول والمزارع خلال شبكات الرى إلى نحو ثلث كمية المياه المنطلقة عند أفمام الترع. ويفقد الثلث الأخر من هذه المياه بالتسرب العميق أو من خلال الصرف السطحى أثناء عمليات استخدام المياه فى رى الأراضى ويمثل الثلث الأخير المتبقى ما يستفاد منه بالفعل.

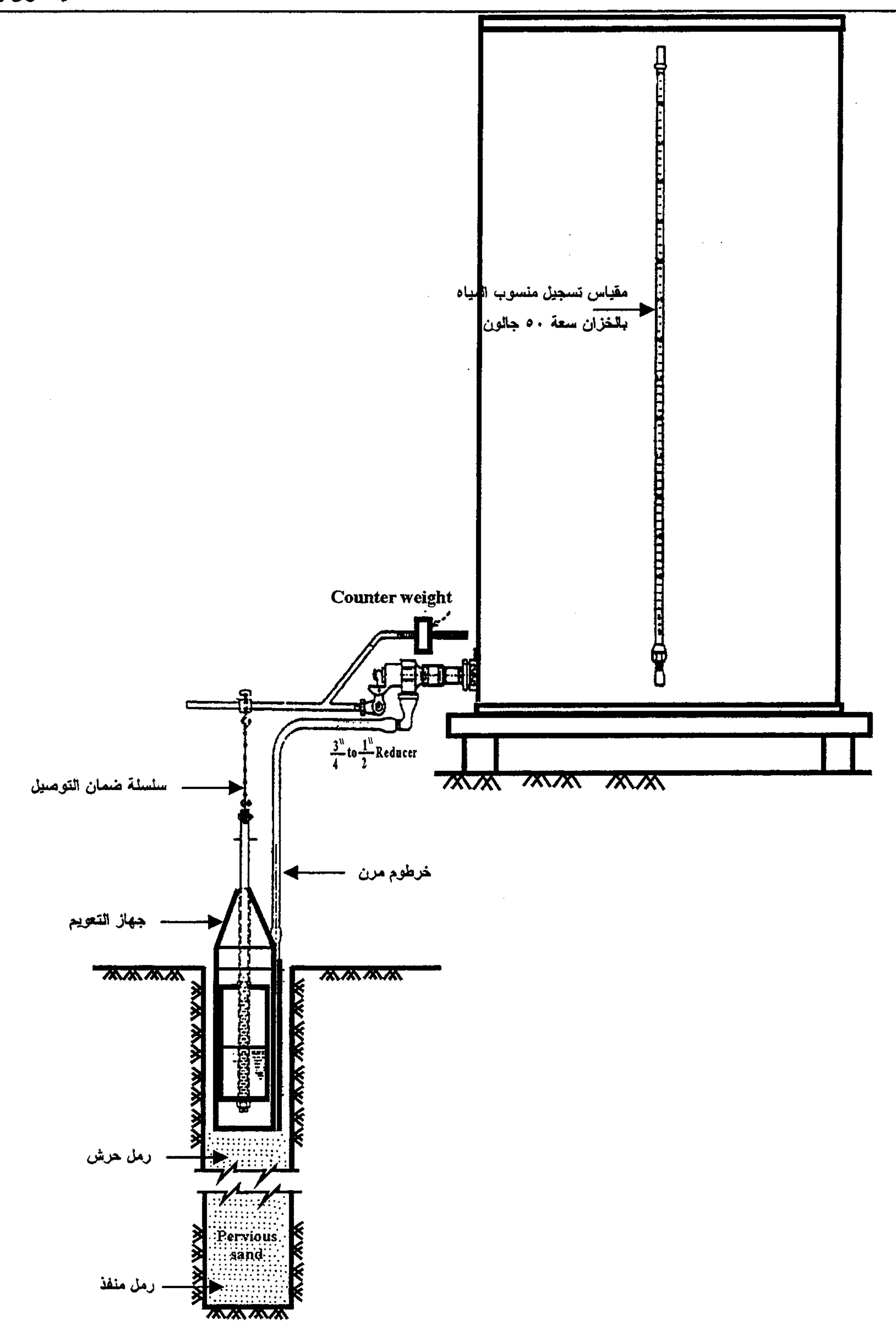
١-١-١ تجارب تحديد النفاذية قبل التنفيذ

إن الغرض الرئيسى لتبطين الترع هو تجنب وتقليل فاقد المياه بالتسرب بالإضافة إلى مزايا أخرى منها مقاومة النحر والتآكل. وقرار تبطين ترعة مقترح تنفيذها يلزم أن يسبقه دراسة للتربة على طول مسارها المقترح وذلك لتحديد نوع التربة ودرجة نفاذيتها. وللتحقق من ذلك يلزم عمل تجارب قياس نفاذية التربة لتحديد التسرب المحتمل حدوثه وبالتالى دراسة أهمية تبطين مجرى الترعة وذلك بالطرق الآتية :

١-١-١-١ بئر القياس

تتبع هذه الطريقة لتحديد النفاذية فى الطبيعة على مسار الترعة وتعتمد التجربة على قياس تصرف منتظم للمياه من البئر ومنسوب المياه به ثابت. ومن المفضل تكرار التجربة على مواقع مختلفة على طول محور الترعة مع مراعاة أن يكون منسوب قاع بئر الاختبار مع انحدار قاع الترعة فى الاتجاه الطولى ومنسوب المياه به مع منسوب المياه المقترح بالترعة. ويوضح الشكل (١-١) تفصيلات جهاز بئر القياس وفيما يلى خطوات ومراحل التجربة :

- يتم حفر البئر باستخدام بريمة الحفر وبقطر مناسب مع مراعاة أن يكون عمق البئر من (١٠ - ٥٠) مرة نصف القطر ولا يقل قطر البئر عن ١٠ سم ومن الأفضل أن يكون القطر ١٥ سم مع مراعاة عدم تغليفه. ويلزم تنظيف البئر ثم ملؤه بالرمال الحرشة حتى منسوب المياه تقريبا لحمايته من التهايل.



شكل (١-١) بئر القياس

- جهاز التعويم من الحديد المجلفن أسطوانى المقطع وبرأس مخروطية مجوف لتركيب عوامة بداخله يتم إنزاله بالبئر مع ملء الفراغ حوله برمال حرشة.
- يعمل الجهاز بواسطة سلسلة ضمان توصيل الحركة المثبتة فى ذراع التشغيل والتى تعمل على تشغيل محبس العوامة المركب عند مخرج خزان المياه سعة (٥٠ جالون) إلى أن يتم الوصول لمنسوب ثابت للمياه بالبئر.
- يتم توصيل المياه من المحبس إلى البئر بواسطة وصلة خرطوم مرنة قطر ١,٢٥ سم.
- التغير المطلوب فى منسوب المياه يمكن تحقيقه بتثبيت طول سلسلة نقل الحركة المثبتة فى ذراع التشغيل.
- مقياس تسجيل منسوب المياه بالخزان يكون متدرجا لتسجيل كميات المياه المتدفقة من الخزان إلى البئر بدقة.
- نظرا للتغير فى درجات الحرارة المتوقعة فى موقع التجربة وتأثير ذلك على درجة لزوجة المياه فإنه من المهم تسجيل درجة حرارة المياه خلال فترة التجربة وذلك لتصحيح معامل النفاذية لدرجة ٢٠° م القياسية.
- تتواصل تجربة تحديد النفاذية بتسجيل قراءات مقياس التصرف المركب على الخزان سعة ٥٠ جالون مقابل فترات زمنية فاصلة ومن هذه القراءات يمكن حساب التصرفات التراكمية خلال فترة زمنية محددة وبالتالى يمكن حساب معدلات التصرف خلال أى فترات زمنية.
- من هذه الأرصاد يمكن حساب معامل نفاذية التربة الذى يرمز له بالرمز (K) بالمعادلات (١-١) ، (١-٢) ، (١-٣) الواردة فيما بعد وفقا للعلاقة بين عمق المياه فى البئر ومنسوب المياه الأرضية فى الموقع حسب الحالات المختلفة الموضحة فى شكل (١-٢).

حالة (١) : منسوب ماء أرضى منخفض $(T_u > 3\ h)$

$$K_{20} = \frac{525600\,(\mathrm{Sinh}^{-1}(\frac{h}{r}) - 1)\,\frac{Q}{2\pi}}{h^2}\,(\frac{\mu_T}{\mu_{20}}) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1-1)$$

حالة (٢) : منسوب ماء أرضى مرتفع $(h \le T_u \le 3h)$

$$K_{20} = \frac{525600\,(\mathrm{Log}_e(\frac{h}{r})\,\frac{Q}{2\pi})}{h^2\,(\frac{1}{6} + \frac{1}{3}(\frac{h}{T_u})^{-1})}\,(\frac{\mu_T}{\mu_{20}}) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1-2)$$

حالة (٣) : منسوب ماء أرضى مرتفع $(T_u < h)$

$$K_{20} = \frac{525600\,(\mathrm{Log}_e(\frac{h}{r})\,\frac{Q}{2\pi})}{h^2\,((\frac{h}{T_u})^{-1} - \frac{1}{2}(\frac{h}{T_u})^{-2})}\,(\frac{\mu_T}{\mu_{20}}) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1-3)$$

حيث

K_{20} = معامل نفاذية التربة عند درجة حرارة ٢٠° م (قدم / سنة)

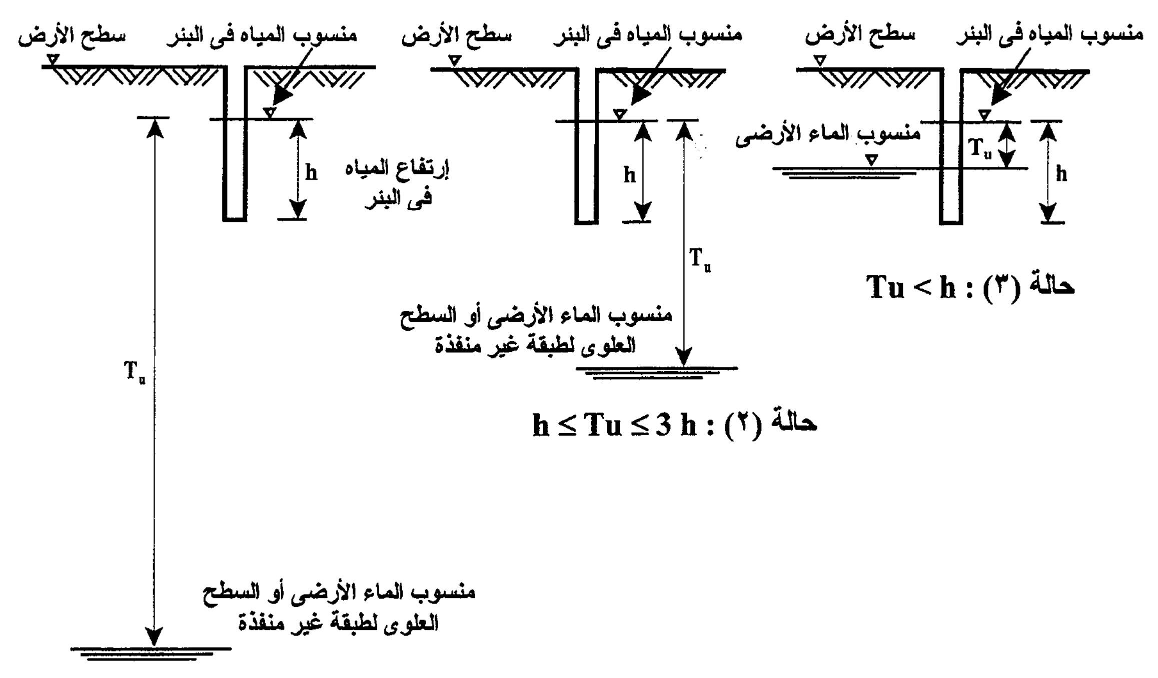
h = إرتفاع المياه فى بئر القياس

r = نصف قطر بئر القياس

Q = تصرف المياه الخارج من بئر القياس (قدم³ / دقيقة)

μ_T , μ_{20} = معامل لزوجة المياه عند درجة حرارة ٢٠° م وعند درجة حرارة إجراء تجربة القياس

T_u = فارق المناسيب بين سطح المياه فى البئر والماء الأرضى أو السطح العلوى لطبقة غير منفذة



شكل (١-٢) العلاقة بين عمق الماء فى بئر القياس والعمق لمستوى الماء الأرضى (أو السطح العلوى لطبقة غير منفذة)

١-١-١-٢ البيزومترات

يمكن إختبار نفاذية التربة بإستخدام البيزومترات وذلك بتركيب عدد منها على طول مسار الترعة. وتبدأ أعمال رصد وتسجيل القراءات عندما يصل منسوب المياه الأرضية إلى حد التوازن (منسوب المياه داخل أنبوب البيزومتر يتعادل مع منسوب الماء الجوفى خارجه) ويؤثر قطر وإرتفاع الفجوة (غير المدعمة) تحت أنبوب البيزومتر على حساب نفاذية التربة.

يتم تخفيض منسوب المياه داخل البيزومتر عن وضع الإتزان السابق ويرصد الفارق بين منسوب سطح المياه داخل البيزومتر ووضع الإتزان الأصلى (Y) مع الزمن (t) وتستخدم المعادلة (١-٤) لحساب معامل النفاذية (K).

$$K = \frac{3600\,\pi\,(\frac{D}{2})^2\,\mathrm{Log}_e\,(\frac{Y_1}{Y_2})}{A\,(t_2 - t_1)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1-4)$$

حيث

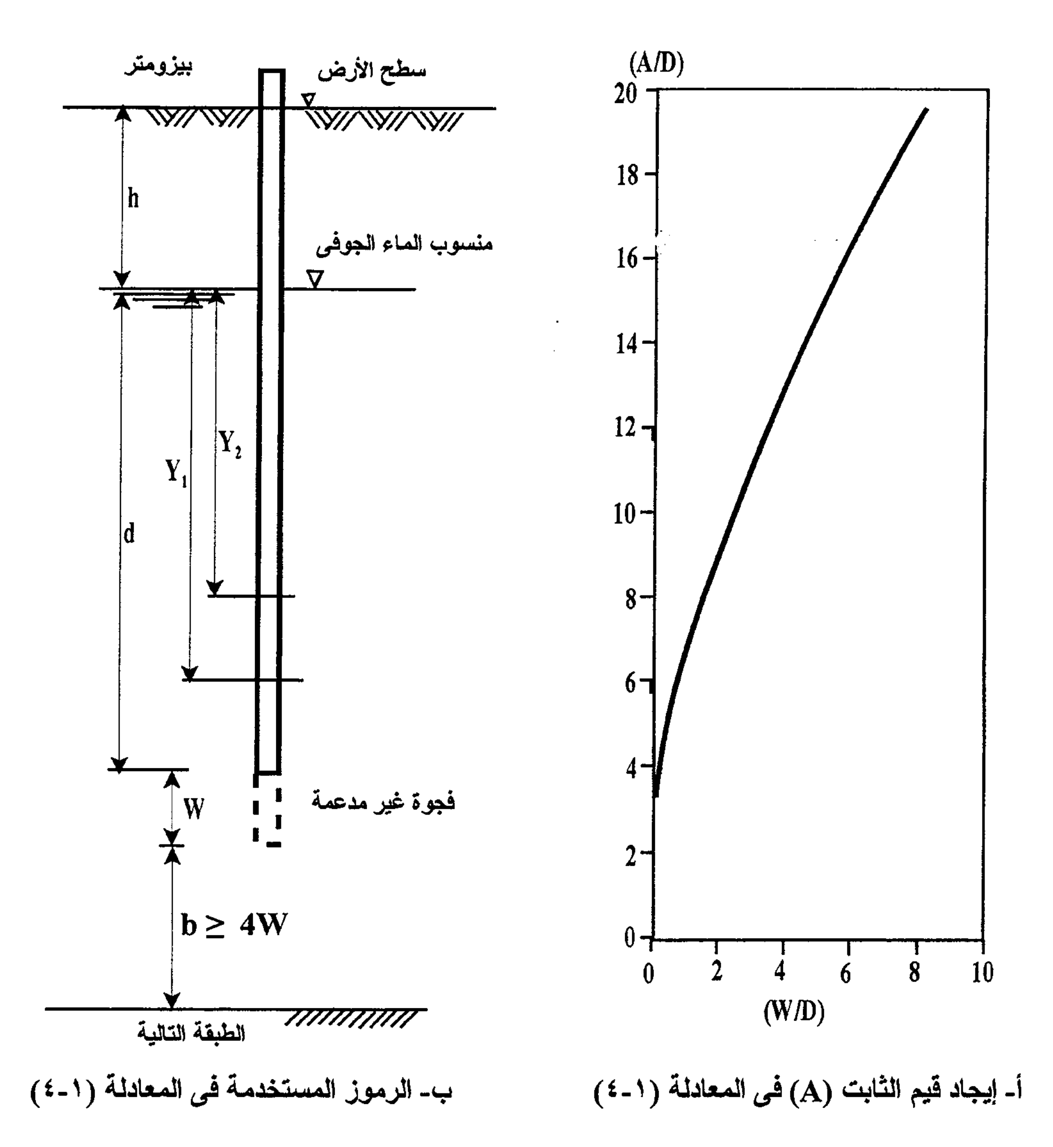
K = معامل النفاذية (بوصة / ساعة)

Y_1, Y_2 = المسافة بين منسوب المياه داخل البيزومتر عند الفترات الزمنية (t_1, t_2) تحت وضع الإتزان الأصلى

D = قطر البيزومتر

$(t_2 - t_1)$ = الفترة الزمنية التى يتغير خلالها الفارق فى منسوب المياه من Y_1 إلى Y_2

A = ثابت يتوقف على قطر البيزومتر (D) وإرتفاع الفجوة (W) وبعد قاع الفجوة عن السطح العلوى للطبقة التالية (b) ويمكن إيجاد قيمة الثابت A من الشكل (١-٣)



ب- الرموز المستخدمة فى المعادلة (١-٤)   أ- إيجاد قيم الثابت (A) فى المعادلة (١-٤)

شكل (١-٣) طريقة البيزومتر لقياس معامل النفاذية

١-١-٢ حساب فواقد التسرب

يتم تقدير فاقد التسرب فى الترع بإستخدام معادلات تجريبية خاصة فى الظروف التى لا يتيسر فيها توفر المعطيات العملية من تجارب قياس فاقد التسرب فى الطبيعة.

ومن المعادلات المستخدمة فى حساب فاقد التسرب فى الترع معادلة موريتز (Moritz) التى تعطى فاقد التسرب بالمتر المكعب فى الثانية للكيلومتر الطولى من حبس الترعة كما يلي :

$$S = 0.65\, C \sqrt{\frac{Q}{V}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1-5)$$

حيث

S = الفاقد من المياه بالتسرب بالمتر المكعب فى الثانية لكل كيلومتر طولى من الترعة

Q = تصرف الترعة بالمتر المكعب فى الثانية

V = متوسط سرعة المياه فى الترعة بالمتر / ثانية

C = مكعب المياه المفقودة فى فترة ٢٤ ساعة خلال المتر المسطح من قطاع الترعة المغمور
وقد أمكن تحديد قيمة المعامل (C) لأنواع التربة المختلفة :

نوع التربة	قيمة (C)
تربة طينية وطينية طفلية	٠,١٢٥
تربة رملية طفلية	٠,٢٠٠
تربة رملية حجرية	٠,٥١٢
تربة رملية حصوية	٠,٦٧١
حصوية أسمنتية متماسكة	٠,١٠٠

وبالإضافة إلى معادلة (Mortiz) تستخدم المعادلة (١-٦) فى حساب فاقد التسرب فى الترع.

$$S = CLP\sqrt{D} \quad ....(1-6)$$

حيث
S = الفاقد بالتسرب و البخر بالمتر المكعب / ثانية
L = طول الترعة بالكيلومتر
P = المحيط المغمور بالمياه من قطاع الترعة بالمتر
D = العمق الهيدروليكى المتوسط للترعة بالمتر ويحسب من خارج قسمة مساحة القطاع المائى للترعة على عرض القطاع المائى عند أعلى منسوب للمياه بالترعة
C = معامل يعتمد على نوع التربة ويساوى ٠,٠٠١٥ فى التربة الطينية المتماسكة ، ويساوى ٠,٠٠٣٠ فى التربة الرملية

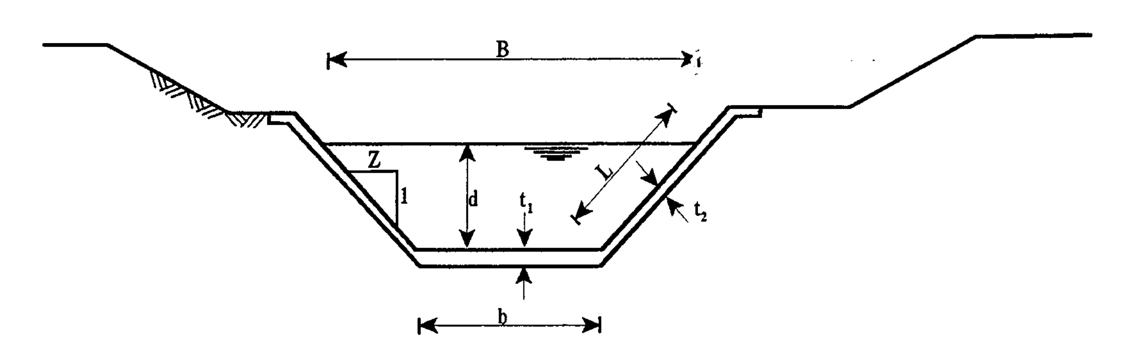
وتستخدم المعادلتين (١-٥) ، (١-٦) لحساب فواقد التسرب فى الترع الترابية (غير المبطنة)

وفى حالة الترع المبطنة تستخدم المعادلة (١-٧) لحساب فاقد التسرب.

$$S = Kd\left(\frac{B}{d} + \frac{b}{t_1} + \frac{d\sqrt{1+Z^2}}{t_2}\right) \quad ....(1-7)$$

حيث
K = معامل النفاذية متر / سنة
B = عرض القطاع المائى بالمتر عند أعلى منسوب للمياه بالترعة
b = عرض قاع الترعة بالمتر
d = عمق المياه بالترعة عند أعلى منسوب
t_1 = سمك تبطين قاع الترعة
t_2 = سمك تبطين الميول الجانبية للترعة
Z = الميل الجانبى للقطاع المائى للترعة (الطول الأفقى / الطول الرأسى)
S = التسرب بالمتر المكعب فى السنة للمتر الطولى من قطاع الترعة

ولحساب الفاقد بالتسرب من الترعة بالمتر المكعب للمتر المسطح من قطاع الترعة فى اليوم الواحد يتم قسـمة ناتج (S) من المعادلة السـابقة (١-٧) على حاصل ضرب (طول محيط الترعة المغمور بالمياه x٣٦٥ يوم). ويوضح الشكل (١-٤) الرموز المستخدمة فى المعادلة (١-٧).



شكل (١-٤) حساب فاقد التسرب فى الترع المبطنة

١-١-٣ العوامل المؤثرة على التسرب

هناك عوامل رئيسية تؤثر على كمية فاقد التسرب من قطاعات الترع يمكن إيجازها على النحو التالى :

- طبيعة بنية التربة.
- عمق المياه بالترعة حيث يزداد التسرب كلما زاد عمق المياه.
- طول الجزء المغمور من قطاع الترعة (القاع والميول الجانبية) حيث تزداد كمية التسرب بزيادة الجزء المغمور.
- كمية الطمى العالقة بالمياه المتدفقة فى الترعة وتدرج أقطار حبيباته فكلما زادت كمية الطمى وصغر قطر الحبيبات تعمل على ملء الفراغات على القاع والميول الجانبية (عند ترسبه) وبالتالى يقل معدل التسرب.
- العلاقة بين منسوب المياه الأرضية بالأراضى المجاورة (أيمن وأيسر الترعة) ومناسيب المياه بالترعة حيث أن ذلك يحدد الإنحدار الهيدروليكى لخط الرشح الذى يؤثر على معدل الفاقد بالتسرب.
- فترات إستخدام الترعة فى مناوبات الرى إذ كلما زادت وطالت هذه الفترات قل معدل التسرب إذ تصل مسامية التربة إلى درجة عالية من التشبع تقل معها النفاذية إلى حدها الأدنى.
- الخواص الكيميائية للتربة ونوعية المياه.

١-١-٤ إختبارات وحسابات التسرب بعد تبطين الترع

يلزم أن يتم إختبار التسرب لأحباس الترعة المختلفة بعد إتمام تنفيذ أعمال تبطين المجرى المائى والتأكد من أن فواقد التسرب المقاسة لا تتعدى المعايير القياسية للتسرب بعد التبطين مما يؤكد مطابقة التبطين للمواصفات والاشتراطات الفنية. وتتم هذه الإختبارات بإحدى الطرق التالية :

١-١-٤-١ طريقة البركة Ponding Method

تعتبر طريقة إختبار التسرب بطريقة البركة أكثر الطرق دقة ويعتمد عليها فى الحصول على نتائج طيبة ويتم الإختبار بالخطوات التالية :

- يتم إنشاء سد فى بداية ونهاية حبس الترعة المراد إختباره.
- يتم إنشاء بيارة على مسطاح الترعة مع مراعاة أن يكون قاع البيارة مع منسوب قاع الترعة وتركيب ماسورة لتغذية البيارة بالمياه من الترعة ويركب بهذه البيارة جهاز آلى لتسجيل مناسيب المياه على ورق بيانى.
- يلزم مراعاة نظافة الحبس المختبر من الترعة وإزالة سفى الرمال المتراكم على قاع وميول قطاع الترعة حيث أن وجود السافى يقلل إلى حد كبير التسرب من قاع الترعة ويعطى نتائج غير صحيحة عن نفاذية التبطين.
- يتم إطلاق المياه فى حبس الترعة إما بإستخدام مضخات قوية تقوم بسحب المياه من المصدر إلى حبس الترعة أو بإنشاء مجرى صغير خلال السد الأمامى للحبس يتم عن طريقه تنظيم ملء الحبس ويمكن الربط بين الأسلوبين. ويلزم مراعاة أن لا تقل فترة ملء الحبس عن عشرة أيام وأن لا تزيد عن خمسة عشر يوما.
- تستمر أعمال الملء حتى تصل مناسيب المياه إلى ٥٠ سم أوطى من منسوب المسطاح (القدمة العليا للتبطين) فى موقع جهاز قياس المناسيب.
- تستمر أعمال قياس ورصد مناسيب الهبوط فى منسوب سطح المياه فى البيارة لفترة ٣٦٠ ساعة محسوبة من ساعة وصول مناسيب المياه فى الحبس المختبر إلى المنسوب الأقصى أو حتى نزول المياه إلى منسوب ماسورة دليل جهاز رصد المياه وبالتالى إستحالة رصد القراءات.

ولحساب التسرب من هذه التجربة تقسم فترة الهبوط إلى فترات كل منها ٢٤ ساعة ومن واقع المناسيب فى بداية ونهاية كل فترة يمكن حساب ما يلى :

- عرض سطح المياه فى الترعة عند بداية الفترة (B_1) وعند نهايتها (B_2) ويؤخذ المتوسط الحسابى لسطح المياه خلال الفترة $B = ((B_1 + B_2) / 2)$.
- يحسب المحيط المائى المغمور للحبس فى بداية الفترة ($P_1 = b + 2\ L_1$) وفى نهايتها ($P_2 = b + 2\ L_2$) ويؤخذ المتوسط الحسابى للمحيط المغمور خلال الفترة ($P = ((P_1 + P_2)/2)$) حيث (L) الطول الكلى الجانبى المبلل وذلك بالرجوع إلى الشكل (١-٤).
- يحسب حجم المياه الكلى المفقود (Q_T) بالتسرب (Q_s) وبالبخر (Q_e) خلال الفترة من المعادلة (١-٨).

$$Q_T = Q_s + Q_e \quad = BY\ell \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1-8)$$

حيث

Y = مقدار الهبوط اليومى فى منسوب المياه بالترعة

ℓ = طول حبس الترعة المختبر

- يكون حجم المياه المفقود بالتسرب $Q_s = Q_T - Q_e$ حيث Qe حجم المياه المفقودة بالبخر من الحبس ويمكن حسابه من المعادلة (١-٩).

$$Q_e = \quad BLe \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1-9)$$

حيث e معدل البخر اليومى من الحبس (متر / يوم)

يعطى معامل التسرب من وحدة المساحات من تبطين الترعة (لتر / متر مربع / يوم) بالقيمة

$$\frac{Q_s\,(1000)}{(P)\,(\ell)}$$

مقارنة نتائج الإختبار بالمعايير القياسية

هناك معايير قياسية لمعامل التسرب يتم مقارنـة نتائج التجربة بها حتى يمكن التحقق من نجاح عملية التبطين. وتعتبر عملية التبطين ناجحة إذا قلت قيم معامل التسرب من التجربة عن القيم القياسية التالية.

حالات حساب المعايير القياسية لمعامل التسرب	(لتر / متر مربع / يوم)
أ- المتوسط الحسابى لمعاملات التسرب المحصور ما بين أعلى منسوب للمياه بالترعة وأوطى منسوب تشغيلى (أقل الإحتياجات)	٣٠ - ٥٠
ب- المتوسط لمعاملات التسرب الفعلية لفترات كل منها ٢٤ساعة منذ رصد المناسيب وحتى المنسوب الأدنى فى الإختبار	١٠ - ٣٠

١-٤-٢ طريقة قياس التصرف الداخل والخارج

يمكن حساب معامل التسرب بالترع بعد التبطين بطريقة التصرف الداخل والخارج وذلك بقياس التصرفات فى الأمام عند بداية الحبس (Q_{in}) وفى الخلف عند نهاية الحبس (Q_{out}) ويمثل الفرق بينهما كمية المياه المفقودة بالتسرب (Q_s).

$$Q_s = Q_{in} - Q_{out} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1-10)$$

وإذا تم قياس التصرفات بوحدات (متر مكعب / ثانية) فإن قيمة التسرب بوحدات (لتر / متر مربع / يوم) تعطى كالتالى $\frac{Q_s\,(1000)(86400)}{(P)(\ell)}$ وتعتمد دقة الطريقة على دقة قياس التصرفات فى الأمام والخلف ويلزم أن تجرى التجربة على حبس طويل نسبيا من الترعة وأن يخلو الحبس من مأخذ لترع فرعية.

١-٤-٣ طريقة جهاز التسرب Seepage Meter Method

جهاز قياس التسرب هو تعديل للجهاز المستخدم فى طريقة بئر القياس وتطويره ليكون مناسبا للإستخدام تحت المياه. ويتكون الجهاز من إناء محكم يتصل بقربة مياه مرنة وذلك عن طريق أنبوب بلاستيك. تتدفق المياه من القربة إلى الإناء حيث تتسرب خلال قاعه المفتوح إلى تربة قاع الترعة من مساحة تبلغ ٠,٢٠ متر مربع. وبحفظ قربة المياه مغمورة فإن الضاغط المائى داخل الإناء يتساوى مع الضغط خارجه.

ولا يعتبر جهاز قياس التسرب وسيلة دقيقة لتحديد كميات فاقد التسرب وتقتصر فائدته فى تحديد المواقع التى تتميز بفاقد تسرب عالى نسبيا كما أن إستخدامه يقتصر على قياس فاقد التسرب فى الترع الترابية أو المبطنة بالأتربة.

١-٢ التبطين والعناصر الهيدروليكية للمجرى

يلزم إختيار قطاعات الترع وفروعها لتكون كافية لحمل التصرفات اللازمة لإحتياجات زماماتها مع مراعاة العناصر الهيدروليكية المؤثرة فى تصميم وتحديد أبعاد قطاع الترعة كالنسب النمطية بين عرض القاع وعمق المياه ، الميول الجانبية ، مسافة الأمان بين أعلى منسوب للمياه بالترعة ومنسوب المسطاح.
ومن واقع الخبرة فإن النسبة بين عرض القاع وعمق المياه فى الترع الترابية تتراوح ما بين ٢ / ١ فى حالة الترع الصغيرة والمساقى وتصل هذه النسبة إلى ٨ / ١ فى الترع الكبيرة التى تحمل تصرفا قدره ٢٥٠ متر مكعب / ثانية وتكون هذه النسب أصغر فى حالة الترع المبطنة.

١-٢-١ معادلات تدفق المياه بالترع

تستخدم معادلةماننج Manning لتصميم قطاعات الترع الترابية والمبطنة على النحو التالى :

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1-11)$$

حيث

V = السرعة المتوسطة للمياه فى قطاع الترعة متر / ثانية

S = الميل الطولى للترعة (الإنحدار الهيدروليكى لخط الطاقة)

R = نصف القطر الهيدروليكى ويساوى مساحة قطاع الترعة مقسوما على محيطها المغمور

n = معامل ماننج للخشونة للسطح الملامس للمياه المتدفقة فى قطاع الترعة ويتفاوت ما بين ٠,٠٢٥ فى حالة الترع الترابية إلى ٠,٠١٤ فى حالة الترع المبطنة

وبإعتبار أن التصرف المار فى الترعة (Q) يساوى حاصل ضرب القطاع المائى للترعة وسرعة المياه المتدفقة بها فإن :

$$Q = AV = A \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad \ldots\ \ldots\ \ldots\ \ldots\ \ldots\ \ldots \quad (1-12)$$

وبالرجوع إلى الشكل (١-٤) يمكن إستنتاج العلاقات الهندسية التالية :

$$A = bd + Zd^2 = (b + Zd)\, d$$
$$P = b + 2d\sqrt{1 + Z^2}$$
$$B = b + 2\, Zd$$

ويراعى فى حالة الترع الترابية غير المبطنة أن تكون سرعة المياه فى الحدود الآمنة لمنع النحر ولمنع رسوب الطمى العالق بالمياه. ويمكن إستخدام معادلة كيندى Kennedy لتقدير السرعة الحرجة فى حالة المياه الرائقة.

$$V_c = C\sqrt{d} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1-13)$$

حيث

d = عمق المياه بالقدم

V_c = السرعة الحرجة بالقدم / ثانية

C = معامل يتوقف على نوع التربة كما يلى

= ٠,٨٤ للتربة الرملية الخفيفة
= ٠,٩٢ للتربة الرملية الحرشة الخفيفة
= ١,٠١ للتربة الطفلية الرملية
= ١,٠٩ للتربة الخشنة الصلبة

ويمكن إستخدام الشكل (١-٥) لإيجاد السرعة الحرجة فى الترع الترابية غير المبطنة للمياه الرائقة

١-٢-٢ العلاقة بين عرض القاع وعمق المياه

عند إختيار النسبة بين عرض القاع وعمق المياه ($\frac{b}{d}$) فإنه يمكن حساب عمق المياه (d) من المعادلة التالية :

$$d = \sqrt{A / (\frac{b}{d} + Z)} \quad ....(1-14)$$

حيث
Z = الميل الجانبى للقطاع
A = مساحة القطاع المائى بالمتر المربع

وتستخدم المعادلات الوضعية التالية فى مصر للترع الترابية بمعامل خشونة (n) يساوى ٠,٠٢٥ لإيجاد العلاقة بين عرض القاع وعمق المياه.

$$d = 0.0025\,(S+8)^2\ b \quad ....(1-15a)$$

إذا كان عمق المياه d أقل من ١,٦٢ متر

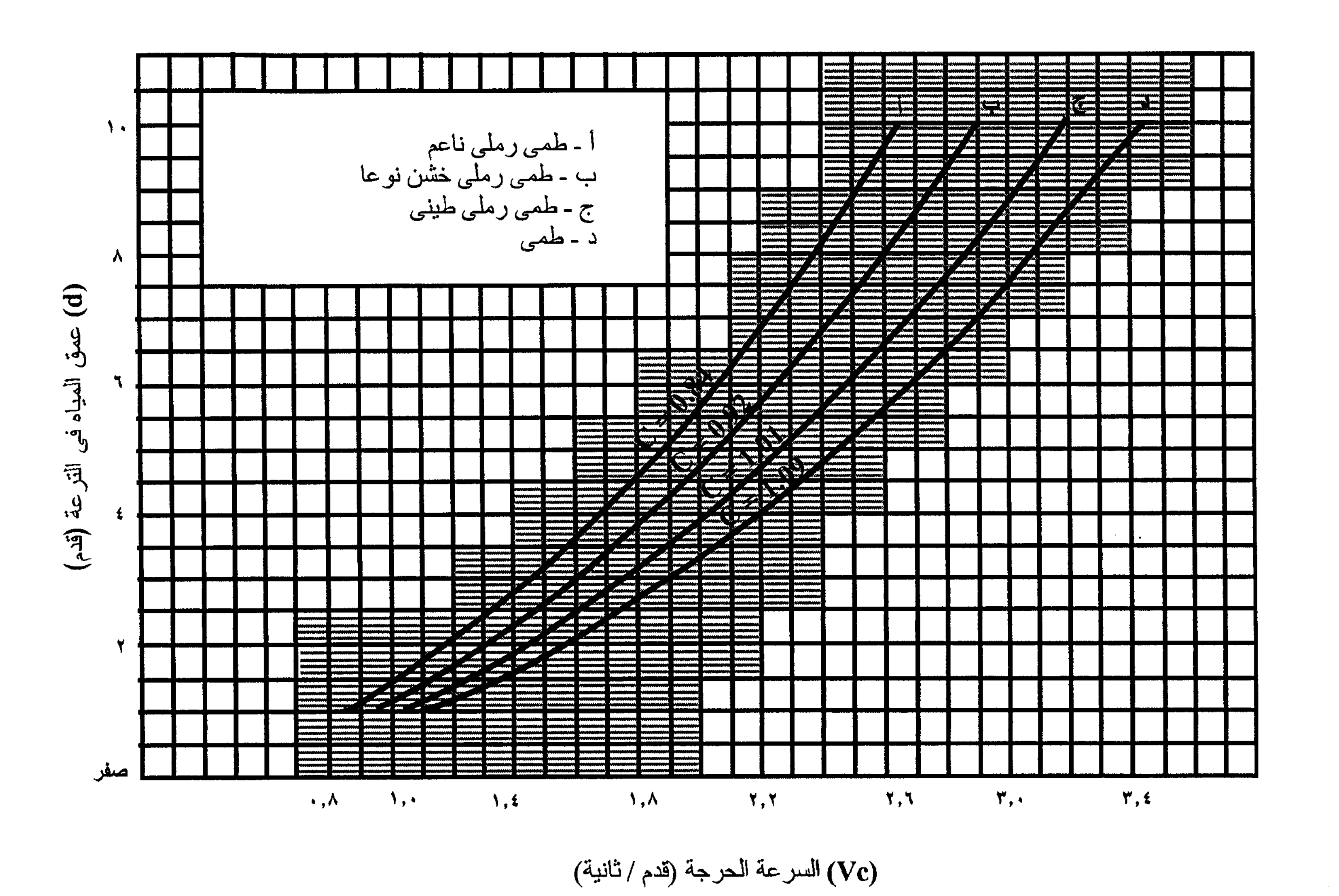
$$d = 0.10\,((\frac{S}{2}) + 4)\,\sqrt{b} \quad ....(1-15b)$$

إذا كان عمق المياه d أكبر من ١,٦٢ متر

١-٢-٣ المنحنيات

كثيرا ما يضطر المخططون لشبكات الرى لعمل منحنيات فى مسارات الترع والمساقى ويتوقف نصف قطر المنحنى المسموح به على سرعة التيار وقطاع الترعة وخواص التربة. ويوصى بأن لا يقل نصف قطر المنحنى عند محور الترعة عن (٣-٧) مرات عرض سطح المياه بالترعة عند أعلى منسوب فى حالة إستخدام تبطين من مواد قابلة للتآكل أو النحر. وتؤخذ النسب الصغيرة للترع الصغيرة والفروع بينما تؤخذ النسب الكبيرة للترع الأكبر. وعلى وجه العموم ينبغى ألا تزيد السرعات المسموح بها فى الترع المبطنة بالأغشية المدفونة عن ثلثى السرعة المسموح بها فى الترع الترابية غير المبطنة. وتتراوح السرعة فى الترع المبطنة بالأتربة ما بين ٠,٣ - ١,٢ متر / ثانية.

وفى حالة التبطين بالخرسانة فإن أقل نصف قطر للمنحنى يسمح به يكون ٣ مرات عرض سطح المياه بالقطاع عند أعلى منسوب. ورغم أنه يسمح بسرعات أعلى من المسموح به فى حالة القطاع الترابى إلا أنه يلزم أن تكون هذه السرعات أقل من ٢,٤ متر / ثانية لتجنب إحتمالات تحول طاقة الحركة إلى طاقة ضغط عند الشروخ تعمل على دفع وتحريك التبطين.



شكل (١-٥) علاقة عمق المياه بالسرعة المسموح بها فى الترع الترابية

١-٢-٤ مسافة الأمان بين سطح المياه ومسطاح الترعة Free Board

يؤخذ فى الإعتبار عند تصميم قطاعات الترع الإحتفاظ بمسافة بين منسوب أعلى المياه ومنسوب المسطاح أو القدمة العليا للتبطين تعرف بمسافة الأمان وتدخل عوامل متعددة فى تحديد هذه المسافة منها مساحة القطاع المائى للترعة ، سرعة المياه بالترعة ، سرعة الرياح فى المنطقة وما ينتج عنها من أمواج، تذبذب منسوب المياه فى الترعة ، خواص التربة ودرجة هبوطها ، إنحدار خط الرشح وكميات الأتربة المتاحة فى حفر قطاع الترعة. ومن واقع الخبرات العملية فى تصميم وتنفيذ شبكات الترع بمختلف درجاتها تحت هذه العوامل فإنه أمكن وضع العلاقة بين أقل مسافة للأمان وتصرفات الترع فى ديجرامات للإسترشاد. ويوضح الشكل (١-٦) أقل مسافة للأمان بين منسوب أعلى المياه ومنسوب مسطاح الترعة أو أعلى المياه والقدمة العليا للتبطين بالمتر فى حالتى التبطين بجسم صلب أو بإستخدام شرائح مدفونة وكذلك أقل مسافة لإرتفاع الجسور عن سطح المياه وذلك كدالة فى تصرف الترعة ما بين ٢,٨ إلى ٥٦٠ متر مكعب/ثانية.

١-٢-٥ معاملماننج للخشونة

يختلف معامل ماننج للخشونة (n) المستخدم فى الحسابات الهيدروليكية فى تصميم الترع المبطنة بإختلاف خواص مواد التبطين المستخدمة.

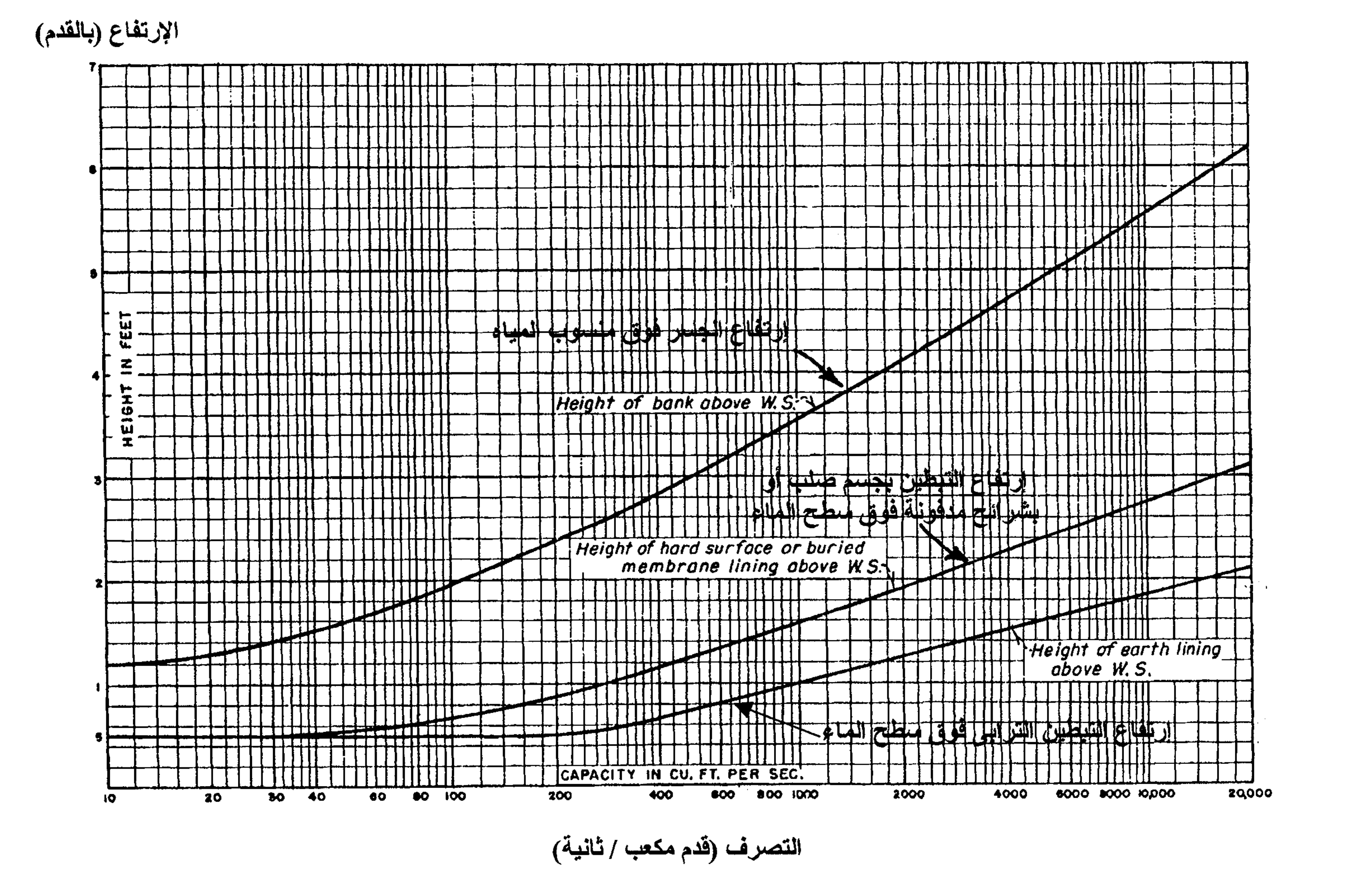
نوع التبطين	قيمة (n)
أولا : حالة التبطين بسطح صلب	
خرسانة أسمنتية عادية	٠,٠١٤
التبطين بمونة شوت كريت	٠,٠١٦ - ٠,٠١٧
التبطين بخرسانة أسفلتية	٠,٠١٤
التبطين ببلاطات أسمنتية سابقة التجهيز	٠,٠١٥
التبطين بتربة مخلوطة بالأسمنت	٠,٠١٥ - ٠,٠١٦
ثانيا : حالة التبطين بأغشية مدفونة مغطاة بطبقة أتربة مضغوطة	
الترع الصغيرة والفروع (تصرف أقل من ٢,٨ م^{3} / ث)	٠,٠٢٥
الترع الكبيرة	٠,٠٢٠ - ٠,٠٢٢٥

وفى حالة الترع المبطنة بالحصى أو الزلط يجب ألا تقل قيمة (n) عن تلك المحسوبة من معادلة ستريكلر (Strickler equation) .

$$n = 0.034\, d_{50}^{\frac{1}{6}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1-16)$$

حيث

d_{50} = هى قطر المنخل الذى يمرر ٥٠ % من وزن التربة المكونة لقطاع الترعة (بالقدم)



شكل (١-٦) أقل إرتفاع للقدمة العليا للتبطين والجسور فوق المنسوب الأعلى للمياه فى قطاعات الترع المبطنة

وفى حالة الترع الكبيرة يمكن إستخدام معادلة كولبروك - وايت Colebrock-white لإيجاد السرعة المتوسطة فى القطاع المائى.

$$V = [\sqrt{32\,g}\ \ \text{Log}\,14.8\,(\frac{R}{K})\,]\,\sqrt{R\,S} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1-17)$$

حيث

S = الإنحدار الطولى للترعة

R = نصف القطر الهيدروليكى لقطاع الترعة (قدم)

K = الإرتفاع المكافئ للخشونة (القطر المتوسط لحبيبات التربة) (قدم)

V = السرعة المتوسطة فى القطاع (قدم / ثانية)

g = عجلة الجاذبية الأرضية (قدم / ثانية^2)

وبتطابق السرعة المتوسطة فى القطاع المائى من معادلتىماننج وكولبروك - وايت يمكن كتابة معامل ماننج للخشونة بدلالة نصف القطر الهيدروليكى (بالقدم) والإرتفاع المكافئ للخشونة (K) بالقدم.

$$n = \frac{0.0463\,R^{\frac{1}{6}}}{\text{Log}\,[\,14.8\,(R/K)\,]} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1-18)$$

وتوضح المعادلة (١-١٨) زيادة قيمة معامل الخشونة كلما كبر قطاع الترعة وزاد نصف قطرها الهيدروليكى.

١-٣ الأنواع المختلفة لتبطين الترع

تتعدد أنواع تبطين مجارى الرى من حيث نوعية المواد المستخدمة وخواصها والمواصفات الفنية لها وطرق تنفيذها. ومن دراسة مزايا وعيوب أنواع التبطين المتعددة على النحو الموضح فى البنود التالية يمكن التوصل إلى صعوبة التوصية بتحديد نوع معين يكون صالحا للإستخدام فى كل الظروف والأحوال.

١-٣-١ التبطين بسطح صلب

يتضمن الأنواع التالية :

- التبطين بالخرسانة الأسمنتية.
- التبطين بالخرسانة الأسفلتية.
- التبطين بمكدام الأسفلت.
- التبطين بمونة الخرسانة الشوت كريت.
- التبطين ببلاطات خرسانية سابقة الصب.

١-٣-٢ التبطين الغشائى بأسطح مكشوفة

يتضمن الأنواع التالية :

- التبطين بغشاء أسفلتى سابق التجهيز.
- التبطين بأغشية بلاستيكية.
- التبطين بألواح المطاط الصناعى.

١-٣-٣ التبطين بأغشية مدفونة

يتضمن الأنواع التالية :

- التبطين بغشاء أسفلتى مدفون.
- التبطين بألواح أسفلتية سابقة التجهيز مدفونة.
- التبطين بغشاء البنتونيت.
- التبطين بغشاء البلاستيك والمطاط الصناعى.

١-٣-٤ التبطين الترابى (تربة منقولة قليلة النفاذية)

١-٣-٥ التبطين لمقاومة التآكل وإنهيارات جسور المجارى المائية

يتضمن الأنواع التالية :

- التبطين بالنسيج الصناعى.
- التبطين بأحجار الريب راب.
- التبطين بالجابيونات.
- التبطين بتدبيش الأحجار.

١-٤ التبطين بسطح صلب مكشوف

تتعدد المواد التى تستخدم فى عمليات تبطين مجارى الرى بسطح صلب مكشوف ، فمنها الخرسانة الأسمنتية والخرسانة الأسفلتية ، ومكدام الأسفلت ، ومونة الخرسانة شوتكريت ، وبلاطات خرسانية سابقة الصب. وبتعدد هذه المواد وإختلاف خواصها ومواصفاتها تختلف طرق تنفيذها وصيانتها وحمايتها.

١-٤-١ التبطين بالخرسانة الأسمنتية

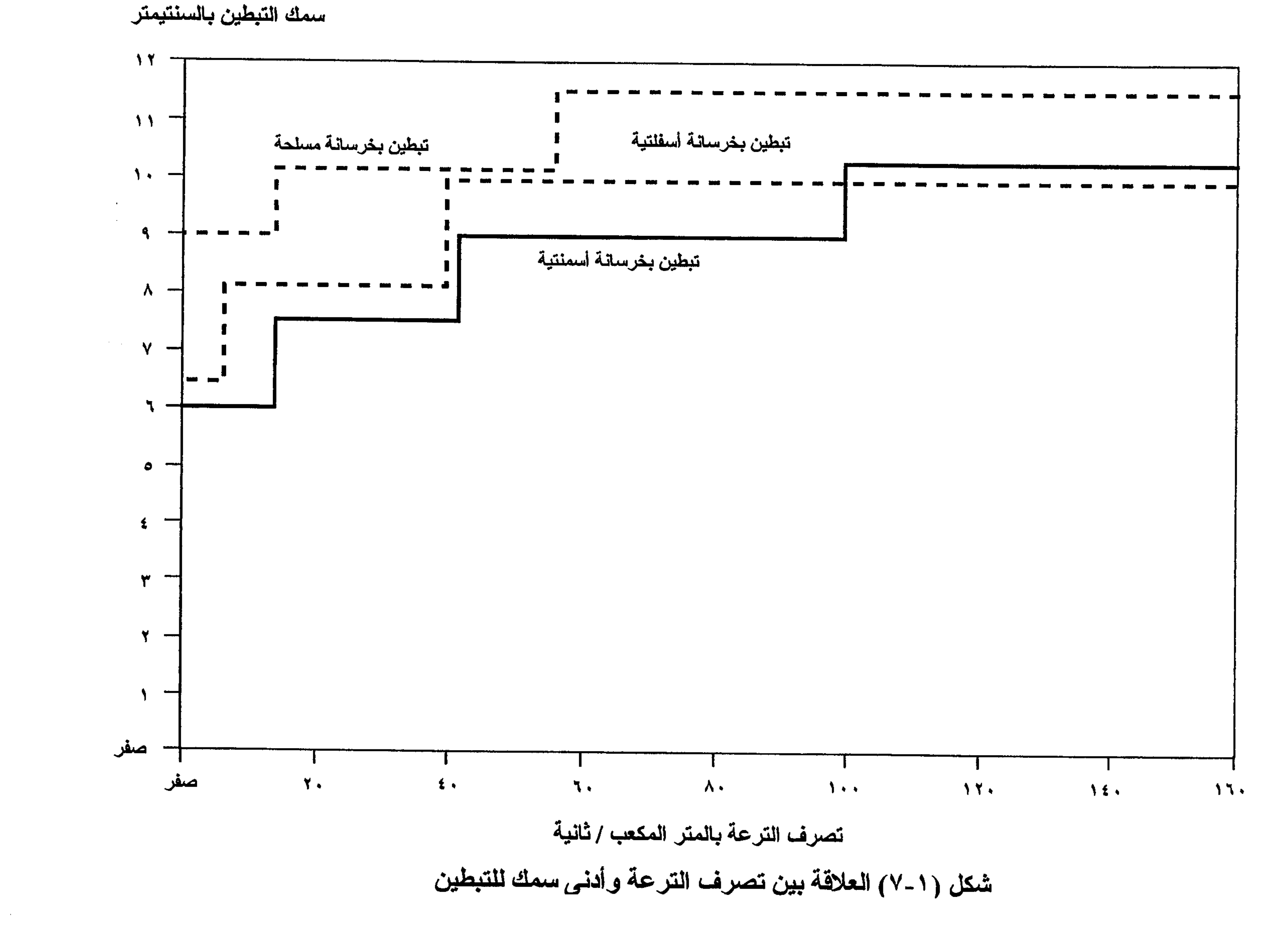
أظهرت التجارب والممارسات أن تبطين مجارى الترع بالخرسانة الأسمنتية سواء العادية أو المسلحة تعطى تبطينا أمثل ذو درجة عالية من الكفاءة من حيث عدم نفاذية المياه ، منع نمو الأعشاب ، مقاومة فعل الحشرات القارضة ، بالإضافة إلى الصلابة وعمرها الإفتراضى فإنها تعطى المجرى كفاءة هيدروليكية عالية. وتتميز عمليات التبطين بالخرسانة الأسمنتية عن غيرها من أنواع التبطين الأخرى بتحقيق كل هذه المميزات والخواص.

ولضمان تحقيق هذه المزايا فمن الضرورى الإلتزام بالمواصفات والإشتراطات الفنية لمواد تكوين الخرسانات بدءا من الركام (الزلط - الرمل) والأسمنت وحديد التسليح . إن طلب ومراعاة الدقة فى عمليات خلط ونقل وتشكيل الخرسانة على قطاع المجرى ومعالجة أسطح الخرسانة بإستخدام مواد المعالجة المتطورة حتى تعطى خرسانة عالية الكفاءة غير منفذة للمياه تحتاج إلى القدر النمطى لأعمال الصيانة وتعطى للترعة قطاعا مناسبا لحمل مياه على سرعات عالية.

١-٤-١-١ سمك التبطين

يتناسب سمك التبطين بالخرسانة الأسمنتية تناسبا طرديا مع مساحة قطاع الترعة الذى يتم إختياره وفقا للقواعد الهيدروليكية الوارد ذكرها بهذا الباب (البند ١-٢ وأجزاؤه) ليكون كافيا لحمل التصرفات اللازمة لإحتياجات زمام الترعة.

ومن المتبع فى مصر أن يتراوح سمك التبطين بالخرسانة الأسمنتية ما بين ١٠ ، ٢٠ سم وفقا لقطاع الترعة وذلك فى حالة قطاع المجرى بشكل شبه منحرف أما فى حالة القطاع المستطيل فيزاد السمك عن ذلك بقدر مناسب مع عمق القطاع. ويوضح الشكل (١-٧) العلاقة بين التصرفات المارة بقطاع الترعة والحد الأدنى المقبول لسمك التبطين.



شكل (١-٧) العلاقة بين تصرف الترعة وأدنى سمك للتبطين

١-٤-١-٢ إشتراطات التربة الحاملة للتبطين

من الإشتراطات الأساسية والهامة لضمان نجاح تبطين مجارى الرى بأسطح صلبة (Hard surface lining) ومنها الخرسانة الأسمنتية أن تكون التربة الحاملة للتبطين صلبة مستقرة لتعمل قدر الإمكان على تقليل إحتمالات حدوث شروخ وخطر إنهيار التبطين نتيجة هبوط التربة الحاملة له. علما بأن التربة الطبيعية الثابتة غير المقلقلة (Undisturbed) مناسبة كأساس للتبطين بالخرسانة الأسمنتية بدون الحاجة إلى معالجة مسبقة.

والتربة الطبيعية بالموقع إذا كانت ذات كثافة منخفضة فإنه يلزم دكها بالمعدات ، أو إزالتها وحفرها وعمل إحلال بتربة مناسبة بدلا منها وتكوين نواة مضغوطة (Compacted core) من تربة صالحة ، وأيضا يتبع ذلك فى حالة ما إذا كانت التربة فى مسار الترعة طفلية أو من الطين المنتفخ (باجة).

النواة المضغوطة Compacted Core

على وجه العموم فإنه يتم عمل النواة المضغوطة الحاملة للتبطين فى الأحوال الآتية :

أ- إذا كانت الأرض الطبيعية فى مسار الترعة أوطى من مناسيب المياه التصميمية للترعة والذى يستلزم على ضوئه تكوين قطاع التربة من تربة منقولة صالحة.

ب- إذا كانت الأرض الطبيعية فى مسار الترعة ضارة بالتبطين الخرسانى من حيث طبيعتها كالطين المنتفخ (الباجة) أو لاحتواء التربة على أى مواد ضارة بالتبطين.

ويتم تنفيذ النواة الحاملة وفقا لما ورد بالكود المصرى للطرق (هيئة الطرق والكبارى المصرية) والكود المصرى للتربة والأساسات (وزارة التعمير والمجتمعات العمرانية والاسكان والمرافق) وذلك من تربة منقولة صالحة مع الفرش والرش بالمياه والدمك على طبقات لا تتعدى ٠,٢٥ متر بإستخدام مجموعة المعدات المتخصصة لهذه الأعمال للوصول للكثافة ودرجة الدمك المقررة ، والمعدات التخصصية لهذه الأعمال هى :

الموتور سكريبر لقطع ونقل التربة أو السيارات القلاب والموتور جريدرات لفرش التربة ثم مجموعة الدمك من الهراسات الهزازة وسيارات المياه بتنكات المزودة بالرشاشات.

ومن المواصفات والإشتراطات الفنية للنواة المضغوطة الحاملة للتبطين :

١- أن يكون المصدر الرئيسى لتكوين النواة قدر الإمكان من ناتج حفر المجرى المائى للترعة نفسها، وأن يتم نقل المواد اللازمة والمناسبة لتكوين النواة وإنشاء المجرى المائى من القطاعات التى تزيد فيها مكعبات الحفر عن إحتياجات الجسور والمساطيح ، كما يمكن الحصول على الأتربة من خارج القطاع من متارب إذا اقتضى الأمر بعد التأكد من أن تربتها مطابقة لمواصفات التربة المقرر إستخدامها فى تكوين النواة.

٢- يلزم حرث التربة العليا قبل تكوين النواة ، ويتم ذلك بالمحاريث المتوسطة العمق بحيث يتم تقليب التربة بعمق ٣٠ سم على الأقل كما يلزم إزالة الحشائش والأشجار والجذور والأملاح وبعد إتمام نظافة التربة يتم معاملة طبقة الأساس (Subgrade) من ناحية الرش بالمياه والدمك بالمعدات وفقا لنوعية التربة.

٣- يراعى فى القطاع التنفيذى للنواة المضغوطة أن يكون العرض من أعلى هو عرض مسطاح الترعة مضافا إليه ٣٥ سم أفقيا من ناحية محور الترعة.
والميل الخارجى للنواة ٣ / ٢ ويمتد تحت الجسور من منسوب المسطاح التصميمى حتى يلتقى بمنسوب الأرض الطبيعية المحروثة والمدكوكة - والميل الداخلى من ناحية محور المجرى هو ميل التبطين ٢ / ١ أو ٣ / ٢ حسب تصميم قطاع الترعة وكما هو مبين فى الشكل (١-٨- أ) .
وإذا كان منسوب القاع التصميمى للترعة أعلى من منسوب الأرض الطبيعية فإن تنفيذ الأعمال الترابية بين أسفل التبطين ومنسوب الأرض الطبيعية المحروثة والمدكوكة يكون كما هو موضح فى الشكل (١-٨- ب) .

٤- ونظرا لأهمية النواة فإنه يلزم إعطاء العناية الكاملة لإختيار التربة الصالحة للإنشاء ويتم تقدير صلاحية التربة للإستعمال فى النواة بالإختبارات التالية :
- التحليل الميكانيكى.
- توزيع مقاس الحبيبات بإستخدام الهيدروميتر.
- حد السيولة وحد اللدونة للحبيبات التى تمر من المهزة رقم ٤ .

ويجب أن تبين نتائج الإختبارت وقوع التربة داخل الحدود النمطية المقبولة وذلك على النحو التالى :
- الوزن النوعى للحبيبات لا يقل عن ٢,٥ .
- الوزن النوعى الجاف لا يقل عن ١١٠٠ كجم / متر مكعب.
- النسبة الكلية للأملاح الذائبة لا تزيد عن ٢ %.
- النسبة الكلية للجير (كربونات الكالسيوم) لا تزيد عن ٤٠ %.
- النسبة الكلية لمحتوى الجبس (كبريتات الكالسيوم) معبرا عنه كنسبة مئوية من وزن العينة الجافة لا تزيد عن ٥ %.

ويلاحظ أن كافة هذه الإختبارات لا تحتاج إلى عينة غير مقلقلة وفى بعض الأحيان قد يتطلب الأمر عمل الإختبارات التالية التى تتطلب عينات غير مقلقلة :
- إختبار القص المباشر.
- إختبار القص الثلاثى.
- إختبار التمدد بعد الإنضغاط.

٥- يلزم إجراء الإختبارات التالية أثناء وبعد التنفيذ للتأكد من إنشاء النواة وفقا للمواصفات والإشتراطات الفنية المطلوبة :
- إختبارات التأكد من دمك الطبقات وتعمل بطريقة الإحلال الرملى إذا كانت تربة النواة ذات حبيبات كبيرة أو بطريقة النواة القاطعة إذا كانت من النوع دقيق الحبيبات.
- تجارب التحقق من ثابت الأعمال وهى تجربة القص وتجربة قياس النفاذية.

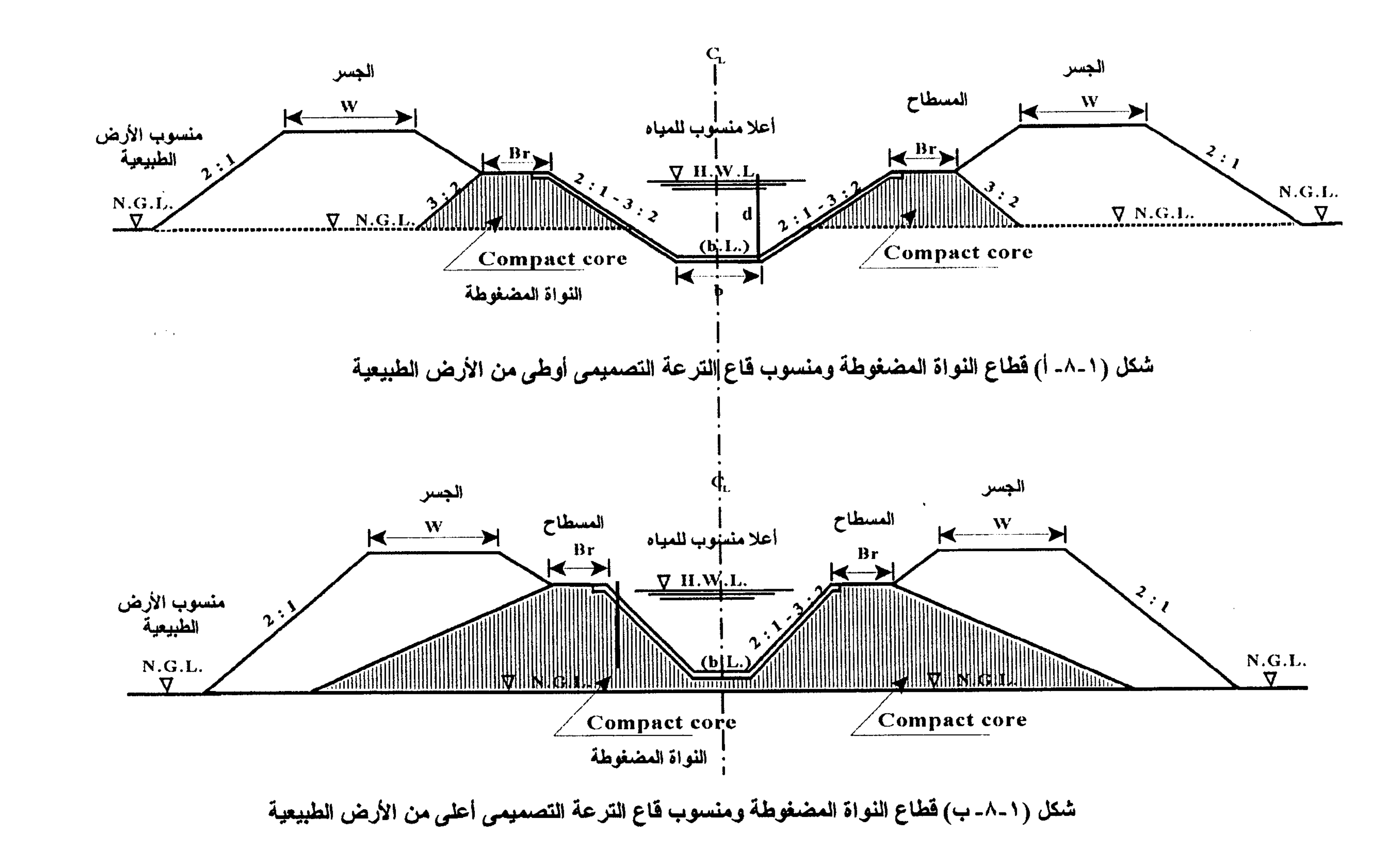
٦- هناك معايير قياسية يلزم أن تسجلها نتائج هذه التجارب لتحديد قبول النواة والتأكد من تنفيذها وفقا للمواصفات والإشتراطات الفنية القياسية - وهذه المعايير موضحة فيما يلى :

أ- في حالة التربة من النوع كبير الحبيبات

نسبة المحتجز على المهزة رقم ٤ للعينة الجافة	أقصى كثافة نسبية مطلوبة	أدنى كثافة نسبية مطلوبة
من صفر إلى ٢٥ %	٨٥ %	٧٠ %
من ٢٦ % إلى ١٠٠ %	٨٠ %	٦٥ %

ب- في حالة التربة دقيقة الحبيبات

نسبة المحتجز على المهزة رقم ٤ للعينة الجافة	أقصى كثافة نسبية مطلوبة	أدنى كثافة نسبية مطلوبة
من صفر إلى ٢٥ %	٩٨ %	٩٥ %
من ٢٦ % إلى ٥٠ %	٩٥ %	٩٢,٥ %
من ٥١ % إلى ٧٠ %	٩٢ %	٩٠ %



شكل (١-٨-أ) قطاع النواة المضغوطة ومنسوب قاع الترعة التصميمى أوطى من الأرض الطبيعية

شكل (١-٨-ب) قطاع النواة المضغوطة ومنسوب قاع الترعة التصميمى أعلى من الأرض الطبيعية

أسطح التربة الحاملة للتبطين

يلزم مراعاة أن يكون سطح التربة الحاملة للتبطين من ناحية محور المجرى بميول منتظمة تمثل ميول الأورنيك التصميمى للترعة والتبطين وأن السطح مستوى أملس تماما خالى من التعرجات والنتوءات وذلك فى جميع حالات تشكيل قطاع الترعة سواء كان بالحفر فى تربة طبيعية أو بتكوين نواة مضغوطة أو الحفر فى تربة صلبة صخرية.

ففى حالة حفر قطاع المجرى فى التربة الطبيعية يراعى ترك ٣٠ سم بطول القطاع المائى حتى منسوب المسطاح التصميمى عند تنفيذ تشغيل القطاع يتم أرنكتها بمعدات الأرنكة الميكانيكية وهى شاملة سمك التبطين الخرسانى وذلك حتى تعطى قطاعا داخليا للمجرى يتمشى مع المطلوب.

وأيضا فى حالة تكوين قطاع المجرى بإنشاء نواة مضغوطة فإنه يتم أرنكة الطبيعة بسمك ٣٠ سم بالزيادة عن عرض النواة أفقيا فى إتجاه محور المجرى والمنصوص عنها فى البند المشار إليه وذلك بمعدات الأرنكة الميكانيكية.

أما فى حالة حفر قطاع الترعة فى تربة صلبة أو صخرية بإستخدام الريبر أو التفجير فإنه يتعذر الحصول على أورنيك لقطاع الترعة منتظم السطح أملس خالى من الفجوات والنتوءات وبميل منتظم حسب التصميم ويمكن معالجة ذلك بإستخدام مونة الأسمنت والرمل لملء الفجوات بين أسطح الصخر وإعطائهما السمك المناسب لتعطى فى النهاية أورنيك لقطاع الترعة أملس تماما وبميول حسب التصميم قبل طبقة التبطين الخرسانى.

١-٤-١-٣ مواصفات خرسانات التبطين

الخرسانات المستخدمة فى أعمال تبطين الترع والمجارى المائية هى من خرسانات المنشآت الهيدروليكية وهى خرسانة من الدرجة الأولى على أن تكون مطابقة للمواصفات القياسية المصرية الواردة بالكود المصرى لخرسانة المنشآت المائية (الصادر من وزارة الأشغال والموارد المائية) وأيضا الواردة بالكود المصرى للخرسانة (الصادر من وزارة التعمير والمجتمعات الجديدة والإسكان والمرافق).

وتشترط مواصفات خرسانات التبطين ضرورة مراعاة إختبار المواد الجيدة المكونة لخلطة الخرسانة (الركام - الرمل - الأسمنت - حديد التسليح - المياه - مواد الإضافة) وخلطها بنسب صحيحة دقيقة بإستخدام خلاطات ميكانيكية أو محطات خلط الخرسانة المركزية فى العمليات الكبيرة ، وذلك لضمان أن يعطى منتج الخرسانة الخواص القياسية المطلوبة والتى تتضمنها هذه المواصفات وذلك من حيث : القابلية للتشغيل والإنتظامية والمقاومة والتحمل مع الزمن وعدم نفاذية المياه والقوام والوزن. ويراعى فى تحديد نسب الخرسانة ومكوناتها الأسس العامة التالية :

- هبوط الخرسانة Slump يكون فى الحدود من (٢-٣) بوصة.
- الحد الأدنى للأسمنت المستخدم أيا كان نوعه هو ٣٠٠ كجم / متر مكعب.
- أدنى إجهاد كسر للخرسانة العادية بعد ٢٨ يوم هو ٢٢٠ كجم / $سم^2$.
- نسبة المياه للأسمنت تتراوح بين ٠,٥ إلى ٠,٦ بالوزن.

أ- مواصفات الركام الكبير (الزلط)

١- يجب ألا يزيد قطر الركام الكبير المستخدم فى خرسانات تبطين الترع عن ٤٠ مم.

٢- يلزم أن يكون الركام من النوع السيليسى التكوين الخالى من الكتل المتماسكة والمواد العضوية والمواد الضارة مثل الأملاح والطفل والأصداف والمواد القلوية وأن يكون متدرج الحجم.

٣- يجب أن لا تقل الكثافة النسبية للركام عن ٢,٦ .
٤- يجب أن تتراوح نسبة امتصاص المياه بين ١ % ، ٢ % بعد غمر ٢٤ ساعة.
٥- يجب ألا تزيد نسبة الشوائب كالطمى (Silt) والطين (Clay) والتى تمر من مهزة ٢٠٠ (٠,٠٧٤ مم) عن ٢ % من إجمالى وزن العينة الجافة.
٦- يشترط ثبات الركام تجاه العوامل الكيميائية لتفاعلات الأسمنت وألا تزيد نسبة الفاقد فى الوزن عن ١٠ % بعد إجراء تجربة كبريتات الصوديوم للأجزاء التى تمر من المهزة رقم ٣ .
٧- يجب ألا يزيد التآكل فى تجربة لوس أنجلوس عن ١٠ % من الوزن الأصلى بعد ١٠٠ دورة أو ٤٠% بعد ٥٠٠ دورة.
٨- يفضل عدم وجود حبيبات مستطيلة من الركام حتى لا تزيد من استهلاك الأسمنت والرمل والمياه وتتسبب فى خشونة سطح الخرسانة وصعوبة خدمته.
٩- تخضع جميع مراحل إعداد الركام (الزلط) سواء إستخراج من المحاجر وهز وفصل وخلط وتدرج وغسيل وتشوين وتوصيل للخلاطات إلى قواعد تضمن حسن الأداء خلال هذه المراحل مع مراعاة أن يكون موقع العمل مستعدا إستعدادا كاملا بكافة ما يلزم من معدات لتجهيز الزلط كالمهزات والصرندات الآلية ومعدات النقل وخلط الركام بالنسب الأصولية المقررة فى تصميم خلطة الخرسانة للحصول على منتج خرسانة مطابق للمواصفات والإشتراطات الفنية القياسية.

ب- مواصفات الرمل

١- يراعى أن يكون الرمل من النوع الصحراوى النظيف الحرش الخالى من الشوائب الزائدة والمواد العضوية.
٢- ألا تزيد نسبة الشوائب المقبولة والتى تمر من مهزة رقم (٢٠٠) عن ٧ %.
٣- غير مسموح بإستخدام المواد الناعمة الناتجة عن الكسارات كرمل فى أعمال الخرسانات لإحتوائها على نسبة عالية من الجير فضلا عن إستهلاكها الكبير للأسمنت.
٤- موضح فيما يلى التدرج الحبيبى القياسى للرمل :

رقم المنخل	المقاس (ملليمتر)	نسبة الوزن الفردية لهذا القطر إلى إجمالى وزن العينة الجافة	
		من	إلى
٤	٢,٧٦	صفر	٥ %
٨	٢,٣٨	٥ %	١٥ %
١٦	١,١٩	١٠ %	٢٥ %
٣٠	٠,٥٩	١٠ %	٣٠ %
٥٠	٠,٢٩٧	١٥ %	٣٥ %
١٠٠	٠,١٤٩	١٢ %	٢٠ %
٢٠٠	٠,٠٧٤	٣ %	٧ %

ويراعى أن لا تقل نسبة المار من المنخل رقم ٥٠ عن ١٥ % لضمان الحصول على سطح أملس ولإعتبارات خاصة بإمكانية خدمة السطح.

ج- الأسمنت

يخضع الأسمنت المستخدم فى خرسانات تبطين الترع ومجارى الرى للمواصفات القياسية المصرية الواردة بالكود المصرى لخرسانة المنشآت الهيدروليكية (الصادر من وزارة الأشغال والموارد المائية) وأيضا الواردة بالكود المصرى للخرسانة (الصادر من وزارة التعمير والمجتمعات الجديدة والإسكان والمرافق).

ومن المتبع إستخدام الأسمنت البورتلاندى العادى فى الظروف العادية للتربة والمياه أما فى حالة المنشآت القريبة من شواطئ البحار أو التربة التى بها أملاح كبريتات أو كلوريدات فيستخدم أسمنت بورتلاندى مقاوم للكبريتات أو أسمنت مقاوم للكلوريدات حتى لا تؤثر هذه الأملاح على مقاومة الخرسانة للإجهادات.

د- المياه

يلزم أن يكون الماء المستعمل فى خلطة الخرسانة نظيفا وخاليا من المواد الضارة مثل الزيوت والأحماض والقلويات والأملاح والمواد العضوية والمواد الأخرى التى قد تؤثر تأثيرا متلفا على الخرسانة أو حديد التسليح. وفى حالة ما إذا كانت المياه من آبار فإنه يلزم عمل الإختبارات اللازمة لمقارنة الشك للأسمنت ومقارنة الضغط والتحمل للخرسانات.

ويلزم الإهتمام بتحديد نسبة خلط المياه للأسمنت علما بأن كمية المياه اللازمة لإتمام التفاعلات الكيميائية تتراوح ما بين ٠,٣٠ إلى ٠,٥٠ من وزن الأسمنت.

هـ- حديد التسليح

يخضع حديد التسليح المستخدم فى خرسانات تبطين الترع للمواصفات القياسية الواردة بالكود المصرى لخرسانة المنشآت الهيدروليكية (الصادر من وزارة الأشغال والموارد المائية) وأيضا الواردة بالكود المصرى (الصادر من وزارة التعمير والمجتمعات الجديدة والإسكان والمرافق).

و- الإضافات ومواد المعالجة

تخضع مواد الإضافة والمعالجة لخرسانات التبطين للمواصفات القياسية المصرية الواردة بالكود المصرى لخرسانة المنشآت الهيدروليكية (الصادر من وزارة الأشغال والموارد المائية) وأيضا الواردة بالكود المصرى (الصادر من وزارة التعمير والمجتمعات الجديدة والإسكان والمرافق).

وقد تضمنت هذه الكودات المواصفات الفنية لمواد الإضافة ومكوناتها وأثرها فى خلطات الخرسانة. وتصنف هذه الإضافات حسب الغرض منها إلى : إضافات تحسين قابلية التشغيل ، إضافات الهواء المحبوس ، إضافات تعجيل الشك ، إضافات إبطاء الشك.

أما مواد معالجة الخرسانة فهى محاليل كيميائية يتم رشها على أسطح الخرسانة بعد الصب وتسوية الأسطح مباشرة لسد المسام والمحافظة على الرطوبة اللازمة للتفاعل الكامل للأسمنت حيث تعمل الطبقة المتكونة من رش المحلول على أسطح الخرسانة على منع التبخر السريع للرطوبة السطحية تفاديا لحدوث شروخ أو تشققات شعرية فى أسطح الخرسانة.

١-٤-١-٤ خلط وتجهيز الخرسانة

يلزم عمل تجارب تصميمية لخلطة الخرسانة لتحديد النسب النمطية وكميات المواد المكونة للخلطة الخرسانية ويفضل أن تكون نسب عناصر الخلطة بالوزن وأن تختار هذه النسب لضمان إعطاء الخرسانة الخواص الآتية :

- أن تكون الخرسانة ذات قوام لدن يضمن أقل هبوط ممكن للخرسانة عند صبها وبما لا يتعدى ٢-٣ بوصة لخرسانة التبطين حتى يمكن فرشها على قطاع المجرى وضغطها بكفاءة عالية بالهزازات لتعطى خرسانة متجانسة.
- أن تكون للخرسانة القدرة على مقاومة التأثيرات الجوية والبيئية المختلفة.
- أن تكون الخرسانة ذات قوة كافية لمقاومة الأحمال التى تتعرض لها.

أ- تقدير إحتياجات الخلطة من المياه

يفضل تكوين الخلطة الخرسانية بأقل كمية من المياه وتتأثر كمية المياه اللازمة لوحدة الحجوم من الخرسانة لإعطاء منتج الخرسانة القوام المطلوب بالحد الأقصى لحجم الحبيبات وشكلها وتدرجها وكمية الهواء المحبوس. ويعطى الجدول (١-١) تقديرا أوليا لكمية المياه اللازمة للخلطة (كجم /متر[٣]) وذلك للأحجام القصوى من الركام ذى الأشكال والتدرجات المنتظمة..

جدول (١-١) نسب الهواء المحبوس والمياه والرمال اللازمة للمتر المكعب من الخرسانة وتأثير إستخدام محاليل تقليل نسب المياه بالخلطة

أقصى حجم لقطر الركام الكبير(الزلط) بوصة	نسبة الهواء المحبوس المطلوب %	نسبة الرمل لإجمالى حجم الركام للمتر المكعب خرسانة	نسبة وزن الركام للمتر المكعب خرسانة %	كمية المياه بالخلطة كجم / م٣	
				خرسانة هواء محبوس	خرسانة هواء محبوس مع إستخدام WRA*
٣/٨″	٨	٦٠	٤١	١٩٠	١٨٠
١/٢″	٧	٥٠	٥٢	١٨٠	١٧٠
٣/٤″	٦	٤٢	٦٢	١٦٥	١٦٠
١″	٥	٣٧	٦٧	١٦٠	١٥٠
١,٥″	٤,٥	٣٤	٧٣	١٤٥	١٤٠
٢″	٤	٣٠	٧٦	١٤٠	١٣٠
٣″	٣,٥	٢٨	٨١	١٢٠	١١٥

* ويراعى أنه عند إستخدام محلول تقليل المياه (WRA = Water Reducing Admixtures) تزاد نسبة الرمل ما بين (١-٢) % لتعويض تقليل حجم المونة بالخلطة نتيجة تقليل المياه.

ب- تقدير إحتياجات الخلطة من الأسمنت

تقاس جودة منتج الخرسانة بقدرتها على التشغيل والقوة والمتانة وتتناسب جودة الخرسانة مع كمية الأسمنت الداخلة فى الخلطة بشرط التدقيق فى تحديد كمية المياه المناسبة لإعطاء القوام المطلوب. ويمكن الإستعانة بالجدول (١-٢) فى تحديد القيم النمطية للنسبة بين المياه والأسمنت بالوزن فى خرسانات التبطين.

جدول (١-٢) نسبة المياه للأسمنت بالوزن (W/C) فى خرسانات تبطين مجارى الرى

ظروف وحالة التبطين	نسبة المياه للأسمنت بالوزن (W/C)	
	جو قاس	جو معتدل
- خرسانات تبطين فى ظروف عادية	٠,٥٣ ± ٠,٠٢	٠,٥٨ ± ٠,٠٢
- خرسانات تبطين تتعرض للكبريتات والقلويات فى التربة والمياه الأرضية	٠,٤٥ ± ٠,٠٢	٠,٥٠ ± ٠,٠٢

وتدخل أقصى قيمة مسموح بها لنسبة المياه للأسمنت بالوزن W/C فى تحديد أقل كمية أسمنت لازمة لخلطة الخرسانة وبالتالى لها تأثير مباشر فى قوة الخرسانة المنتجة. ويوضح الجدول (١-٣) قوة الخرسانة المنتجة لخرسانة ذات هواء محبوس فى حالتى إستخدام محلول تقليل المياه WRA وعدم إستخدامه لنسب مختلفة من المياه والأسمنت.

جدول (١-٣) أدنى متوسط قوة ضغط (كجم / سم^2) محتمل حدوثها لخرسانات ذات نسب مياه / أسمنت مختلفة

نسبة المياه للأسمنت بالوزن (W/C)	قوة تحمل الخرسانة للضغط كجم / سم^2	
	خرسانة ذات هواء محبوس	خرسانة ذات هواء محبوس مع إضافة محلول تقليل المياه
٠,٤٠	٤٠٠	٤٥٠
٠,٤٥	٣٤٠	٤٠٠
٠,٥٠	٣٠٠	٣٥٠
٠,٥٥	٢٥٠	٣٠٠
٠,٦٠	٢٢٠	٢٥٠
٠,٦٥	١٨٠	٢٢٠
٠,٧٠	١٥٠	٢٠٠

ج- تقديرات الركام (الزلط والرمل بالخلطة)

للوصول لتقدير أولى لتحديد أفضل النسب المكونة للركام (الرمل والزلط) فى خلطة الخرسانة يمكن الإعتماد على النتائج المتضمنة فى الجدول (١-١). ويعطى الجدول (١-٤) أكبر مقاس لركام الزلط الذى يستخدم فى خرسانات التبطين وفقا لسمك بلاطات التبطين وأيضا المسافات بين أسياخ حديد التسليح فى حالة التبطين بخرسانة مسلحة.

جدول (١-٤) أكبر حجم لركام الزلط المستخدم فى خرسانات التبطين

سمك بلاطة التبطين	أكبر حجم لركام الزلط بالبوصة	
	خرسانة عادية أو مسلحة تسليح خفيف	خرسانة مسلحة تسليح ثقيل
سمك ١٠ سم وأقل	٠,٧٥″ - ١,٥″	٠,٧٥″ - ١,٥″
سمك أكثر من ١٠ سم وحتى ٣٠ سم	١,٥″ - ٣″	١,٥″

ويتم خلط الخرسانة بإحدى الطرق التالية :

- الخلط المركزى بإستخدام الخلاطات المركزية الثابتة المعروفة بمحطات خلط الخرسانة ويراعى إختيار موضعها فى موقع متوسط للمشروع لتقليل زمن نقل خلطات الخرسانة وتعمل هذه المحطات بنظام الوزن ويلحق بها خزانات (Silos) لكل من الأسمنت والزلط والرمل وجهاز إضافة المياه ومقطر (Dispenser) وهو خاص بمواد الإضافة وجهاز قياس الأوزان للمواد الداخلة للخلاطة.

  وهناك نوعان لمحطات الخلط المركزية النوع الأول ينتج خرسانة مبتلة وهى التى تضاف فيها المياه ومواد الإضافة عند إتمام عملية الخلط بالخلاطة ، والنوع الثانى يعطى خرسانة جافة وفى هذه المحطات لا يلحق بالخلاطة جهاز إضافة المياه ومقطر مواد الإضافة إلا أنهما يضافان إلى سيارات نقل وخلط الخرسانة حيث تتم عملية الخلط أثناء عملية النقل وبمعدلات ترتبط بمسافة النقل وعدد دورات حلة السيارة.

- الخلط الميكانيكى الموضعى وذلك بإستخدام الخلاطات المتنقلة ذات السعات المختلفة (٠,١ - ٠,٩ متر مكعب) والتى يمكن إمالتها والمفتوحة من أعلى وتزود الحلة بأسلحة دوارة أو ثابتة وعلى وجه العموم فإنه يسمح بإستخدام هذا النوع من الخلط فى العمليات الصغيرة.

١-٤-١-٥ نقل الخرسانة لمواقع العمل

تستخدم المعدات الميكانيكية فى نقل الخرسانات من مواقع الخلاطات إلى مواقع الصب للتبطين. وهناك وسائل متعددة لنقل الخرسانة لمواقع الإستخدام إلا أن أنسبها وأنجحها لعمليات تبطين مجارى الرى الطرق الآتية :

سيارات نقل وخلط الخرسانة Truck Mixer

تستخدم فى حالة أن تكون الخرسانة مبتلة وأيضا فى حالة أن تعطى الخلاطات خرسانة جافة ويلزم فى هذه الحالة أن يلحق بسيارة نقل وخلط الخرسانة خزان وطلمبة مياه وأيضا مقطر لتزويد الخلاطة بمواد الإضافة بالنسب المقررة لتتم عملية خلط الخرسانة أثناء عملية النقل.

طلمبات ضخ الخرسانة Concrete Pumps

تستخدم فى حالة الخرسانة المبتلة وتتميز المعدة بإمكانية ضخ الخرسانة فى خط التغذية لنقط الصب والتى تصل إلى حوالى ٥٠٠ متر فى الإتجاه الأفقى ، ١٢٠ متر فى الإتجاه الرأسى.

ولهذا يفضل إستخدامها فى حالة ضخ الخرسانة لتبطين مجارى الرى التى تبتعد فيها الجسور الصالحة لمرور السيارات ووسائل النقل ومعدات التنفيذ عن قطاع المجرى المطلوب تبطينه حيث أن إستخدام طلمبة الخرسانة يسهل عملية تغذية معدات التبطين بالخرسانة وأيضا يفضل إستخدام طلمبة الخرسانة فى حالة ضخ الخرسانة لتبطين قاع المجرى فى حالة المجارى ذات القطاعات الكبيرة.

ويتم ضخ الخرسانة المخلوطة الجاهزة للصب من الطلمبة فى خط الطرد الذى يتكون من ماسورة من الصلب بطول ٥ - ٨ متر لها وصلات من خرطوم مسلح مرن تركب بالأطوال حسب المسافة المطلوبة ويختلف القطر الداخلى لخط الطرد حيث يكون ٨″ عند الماسورة الآخذة من الطلمبة إلى أن يصل ٣″ فى الوصلات. وقد روعى فى تحديد أقطار خط ضخ الخرسانة أن يبدأ بالقطر الأكبر عند بداية ضخ الطلمبة فى الخط ليسمح بتدفق الكميات المناسبة من الخرسانة إلى القطر الأصغر عند نهاية خط التغذية وذلك لسهولة تدفق ومناولة الخرسانة ، وفى طلمبات ضخ الخرسانة الحديثة الكبيرة يصل القطر عند بيستون الطلمبة إلى ٩″ - ١٢″ بينما الوصلة النهائية تصل إلى ٣″ - ٤″ فقط. ويتحكم أكبر حجم لركام الزلط المستخدم فى خلطة الخرسانة فى تحديد أقل قطر له وعلى وجه العموم فإن أكبر قطر لركام الزلط يلزم أن لا يتعدى ٤٠ % من القطر الداخلى لخط الضخ.

١-٤-١-٦ صب خرسانات التبطين

التبطين الأمثل بالخرسانة للترع وفروعها يلزم أن يتم بخرسانة منتظمة القطاع منضغطة وهذا يأتى بحسن إختيار طرق الإنشاء وإختيار أنسبها لظروف المشروع ويمكن تبطين الترع وفروعها بطرق التشغيل اليدوية ومع تقدم طرق الأداء أمكن تصميم وتصنيع معدات ميكانيكية لتبطين الترع وفروعها بالخرسانة بدءا من عملية الأرنكة وصب الخرسانات وقطع وملء الفواصل ورش مواد المعالجة وهو ما يعرف بالتشغيل الميكانيكى.

التشغيل الميكانيكى

تتم عملية التبطين بإستخدام مجموعة من الوحدات الميكانيكية متعددة الأغراض متكاملة المراحل وهى :

- آلة الأرنكة Trimming machine .
- آلة صب الخرسانة Concrete paver slip form .
- آلة ملء الفواصل ورش مواد المعالجة Jointing curing jumbo .
- آلة السقالة الميكانيكية Workman's jumbo .

وهذه المجموعة من الآلات يتم تصميمها وتصنيعها بما يتناسب مع عناصر محددة للمشروع أهمها حجم قطاع المجرى المائى المراد تبطينه وعرض القاع وعمق المجرى وطول الميل الجانبى ولهذه المجموعة من المعدات نوعان :

- الأول معدات تشغيل نصف القطاع Half section machinery .
- الثانى معدات تشغيل كامل القطاع Full section machinery .

أولا : آلات تشغيل نصف القطاع

تتميز مجموعة تشغيل نصف القطاع بإمكانية تنفيذ التبطين للترع ذات القطاعات الكبيرة (الرياحات - الترع العمومية - الترع الرئيسية - ....) حيث تعمل هذه المجموعة على الميول الجانبية لقطاع

الترعة مع جزء من القاع فى حدود ١,٥ - ٢,٠ متر. ثم تقوم بنفس العمل فى الاتجاه الأخر من القطاع. وفى الوضع الثالث تقوم بالتنفيذ للجزء المتبقى من القاع وذلك بعد أن يتم تغيير هيكل الآلات على الوضع الأفقى كما هو موضح بالشكل (١-٩).

وتعرف هذه المجموعة بأنها متعددة الاستخدامات كما تتميز بإمكانية تشغيلها على الميول الجانبية المختلفة (٢/٣ - ١/٢ - ١/١) عن طريق مفصلة وقد روعى فى تصميم وتصنيع هذه الآلات وجود أجزاء هيكلية إضافية تركب فى حالة الحاجة عند زيادة طول الميول الجانبية أو عرض القاع. وتتكون هذه المجموعة من وحدات مختلفة متكاملة لأداء عملية التبطين بمراحلها بدءا من عملية الأرنكة للميول والقاع حتى صب الخرسانات والتسوية النهائية للأسطح ورش مواد المعالجة وقطع وملء الفواصل.

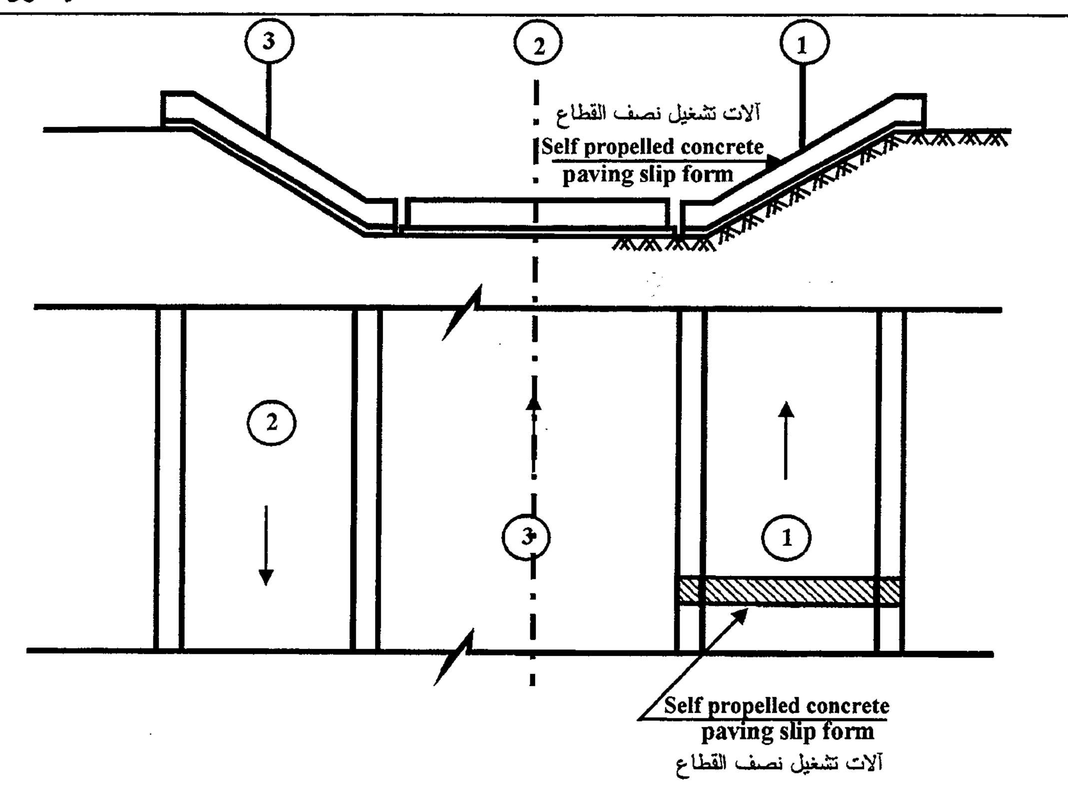
ويوضح الشكل (١-١٠) رسما توضيحيا لسير العمل بوحدات التبطين لنصف القطاع وفقا لتسلسل مراحل العمل :

آلة الأرنكة - آلة صب الخرسانة - السقالة الميكانيكية - السقالة الميكانيكية لرش مواد المعالجة وملء الفواصل وكل هذه الوحدات ذاتية الحركة. ونظرا لثقل آلة الأرنكة وآلة صب الخرسانة فإن عملية النقل والتحريك من وضع لأخر أو من موقع لأخر تحتاج لمعدات معاونة (آلة رفع وتحريك - شاحنة رفع وحمل معدات ثقيلة).

ثانيا : آلات تشغيل القطاع بأكمله

تقوم هذه المجموعة من الآلات المبينة بالشكل (١-١١) بكل من عملية الأرنكة وصب خرسانات التبطين لكامل قطاع الترعة (القدمة العليا للتبطين والميول الجانبية والقاع) فى جرة واحدة وتتميز مجموعة آلات التبطين لكامل القطاع أيضا بذاتية الحركة فى الجر والرفع.

وتتكون المجموعة من الوحدات اللازمة لإتمام عملية التبطين متكاملة وهى : آلة الأرنكة ، آلة صب الخرسانة ، آلة السقالة الميكانيكية ، آلة السقالة الميكانيكية لملء الفواصل ورش مواد المعالجة. وقد روعى فى تصميم وتصنيع هذه الآلات أن تقوم بتبطين القطاع الكامل للترع بعرض قاع متغير (بدءا من ٠,٥ متر حتى ٥,٠ متر) وذلك عن طريق وصلات يتم تحريكها للوصول لعرض القاع المطلوب وتزود أيضا هذه الوصلات بمفصلات للتحكم فى الميول الجانبية لقطاع التشغيل ويلحق بها وصلات هيكلية لتغيير طول الميول الجانبية وفقا للأبعاد التصميمية لقطاع المجرى المراد تبطينه.



شكل (١-٩) مراحل تشغيل معدات تبطين نصف القطاع

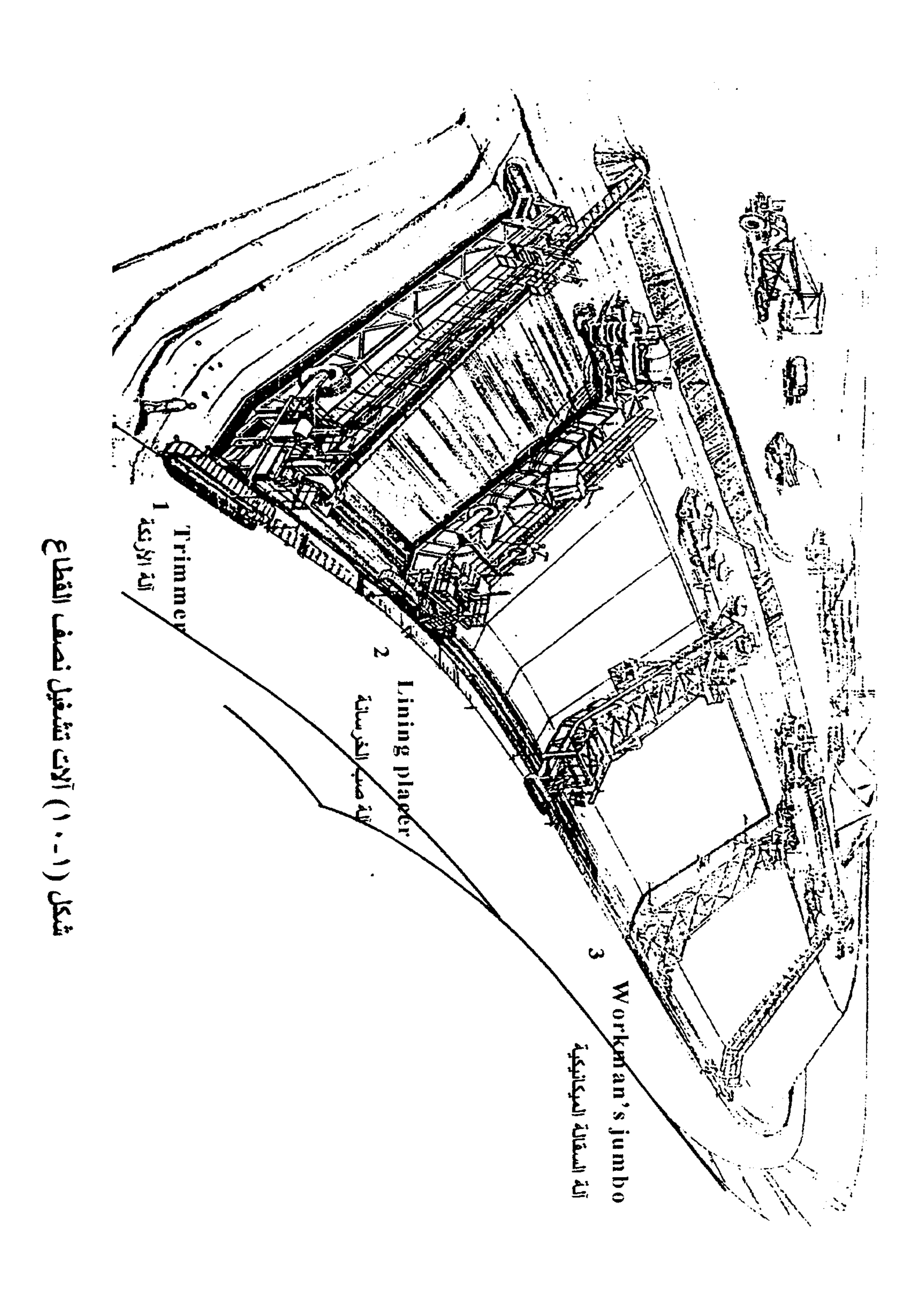
١-٤-١-٧ فواصل خرسانات التبطين

أنواع الفواصل

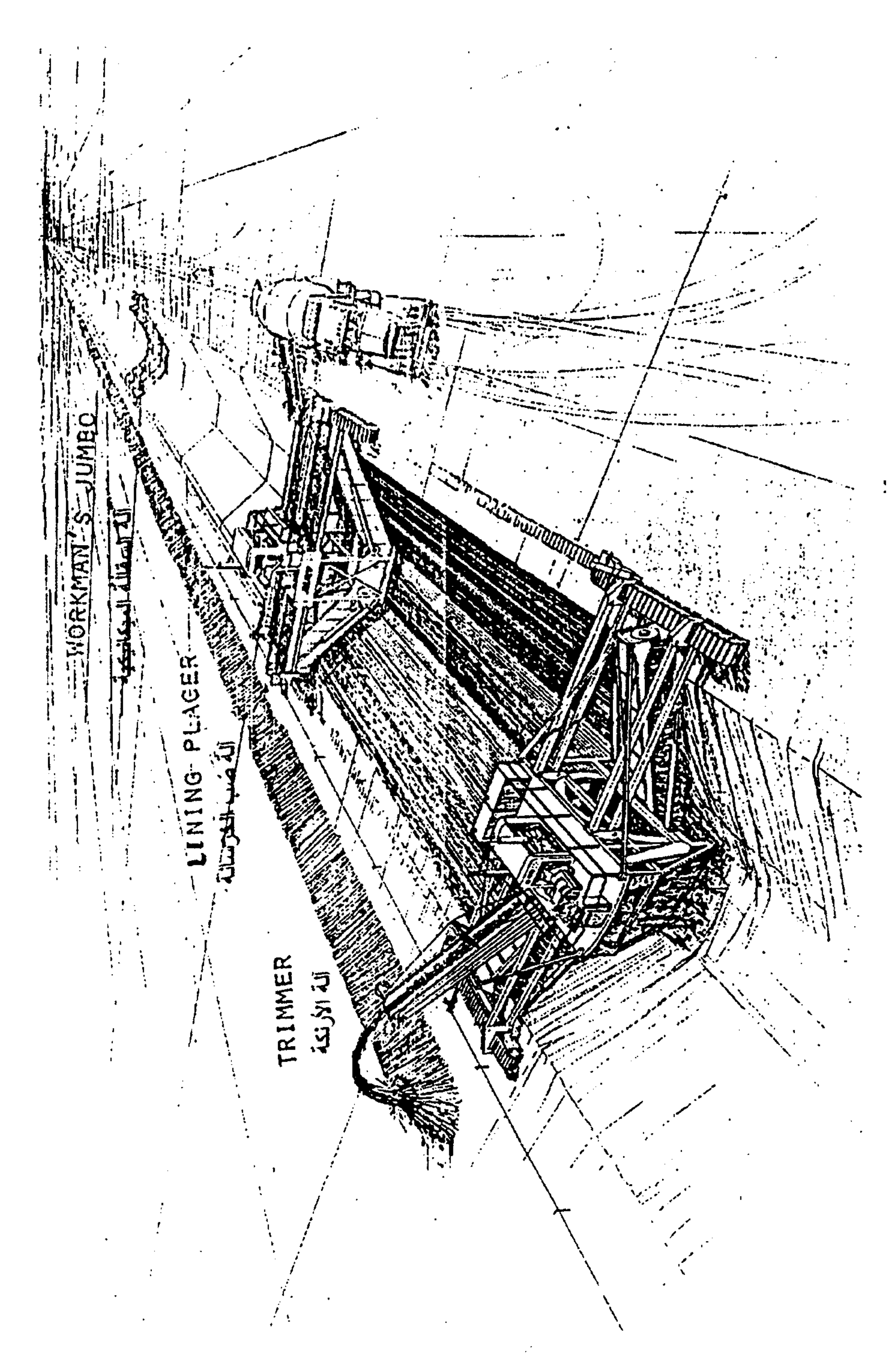
يتم عمل الفواصل فى خرسانات تبطين المجارى المائية لمقاومة الإنكماش والتمدد الذى تتعرض له الخرسانة تحت تأثير إختلاف درجات الحرارة أو لتسهيل وتنظيم عملية الصب أثناء التنفيذ حيث يتم عمل فاصل الصب أو الإنشاء فى نهاية عمل اليوم أو عند نهاية قدمة التبطين للقاع فى حالة إستخدام ماكينة تبطين نصف القطاع.

ويتم عمل الفواصل الطولية Longitudinal والعرضية Transverse آليا بدءا من تحديدها بجهاز تحديد وتخطيط الفواصل الملحق بماكينة صب الخرسانة وحتى عملية التنظيف وملء تجويف الفواصل بالمواد الخاصة (المادة الخلفية والأمامية Back filling material and sealant) بإستخدام العدد والآلات الخاصة بذلك الملحقة بآلة ملء الفواصل ورش مواد المعالجة وأيضا فى حالة ما إذا كان المطلوب عمل الفواصل من مانعات تسرب المياه PVC Water stop فإنه يتم تثبيتها فى الخرسانة الطرية (Fresh concrete) بجهاز إضافى مزود خصيصا لذلك فى آلة ملء الفواصل.

والغرض الرئيسيى لفواصل التبطين هو تكييف ظاهرة حركة بلاطات التبطين نتيجة التمدد الحرارى لمنع الشروخ لذلك يجب تقدير قيمة الحركة عند الفواصل والعناية بإختيار مادة ملء الفاصل الأمامية (Sealant) لأنها المادة الغالقة لتجويف الفاصل من ناحية المياه. ويوضح الشكل (١-١٢) الأنواع المختلفة من فواصل التبطين.



شكل (١-١٠) آلات تشغيل نصف القطاع



شكل (١١-١) آلات تشغيل كامل القطاع

١- فواصل الإنكماش Contraction Joints

وتعمل طولية موازية لمحور الترعة علـى الميول الجانبية أو القاع وتعمل أيضا عرضية عمودية على محور الترعة. والشكلان (١-١٣) أ ، ب يوضحان نموذجين لفواصل الإنكماش.

٢- فواصل التمدد Expansion Joints

تعمل فواصل التمدد عرضية على محور الترعة وعلى مسافات تتناسب مع قطاع الترعة ومعامل تمدد الخرسانة أو طولية وفقا لقطاع الترعة وعرض قاعها إذا ما إقتضى الأمر ذلك. والشكلان (١-١٣) ج ، د يوضحان نموذجين لفواصل التمدد.

٣- فواصل الإنشاء أو الصب Construction Joints

وهى ما تقتضيه ظروف وطرق تنفيذ عملية التبطين وتعمل إما طولية عند نهاية قدمة التبطين السفلى للميول الجانبية والقاع عند إستخدام ماكينة تشغيل نصف القطاع أو تعمل عرضية عند نهاية عمل اليوم وتعمل فواصل الإنشاء (الصب) بنفس مواصفات فواصل التمدد وبكامل عمق خرسانة التبطين كما هو موضح فى الشكلين (١-١٣) ج ، د.

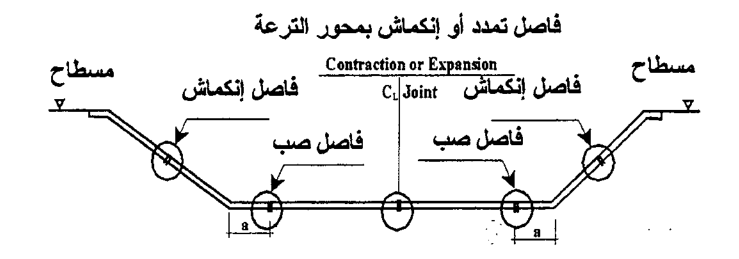
أسس تصميم الفواصل

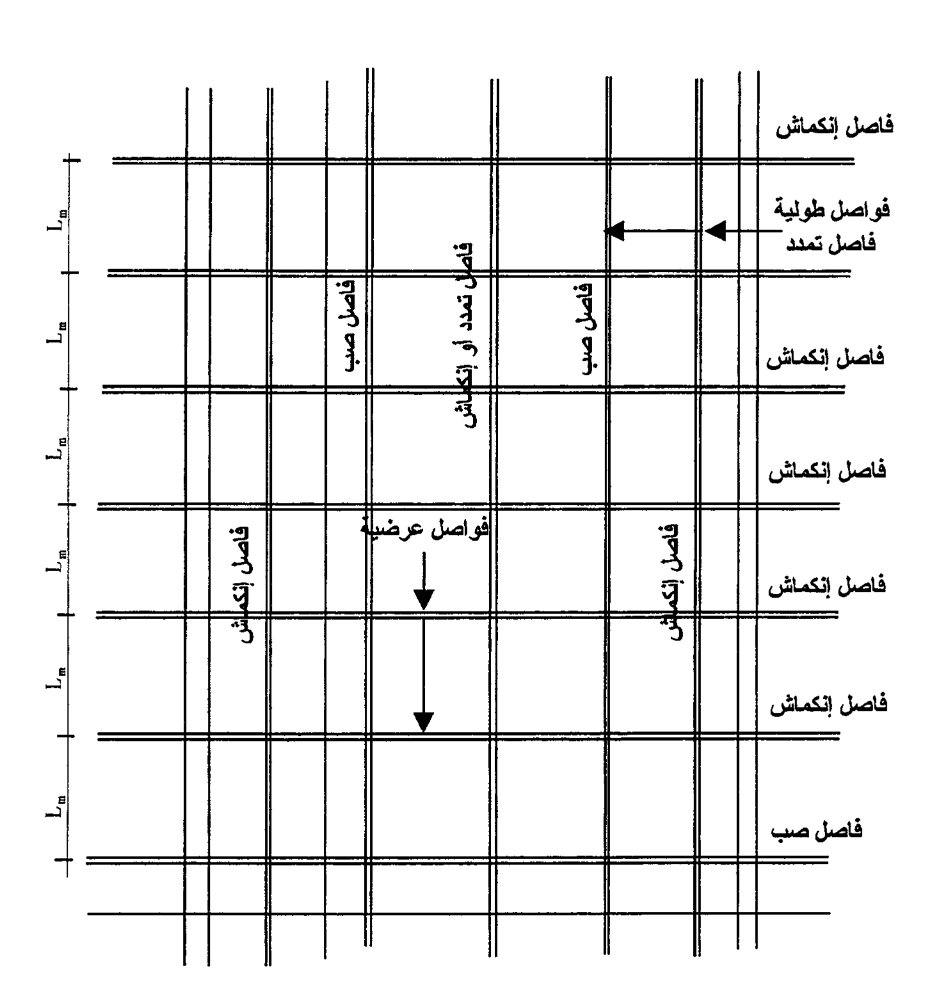
١- المسافات بين الفواصل

أ- فواصل الإنكماش العرضية فى الاتجاه الطولى للمجرى المائى تؤخذ على مسافات كل ٣ أو ٤ متر ، أما الفواصل الطولية التى تؤخذ موازية لمحور الترعة على الميول الجانبية للقطاع فتؤخذ عند ٠,٢٥ طول الميل من نقطة إلتقاء الميل بالقاع أو التى تؤخذ ببلاطة قاع المجرى إذا إقتضى عرض قاع الترعة ذلك.
ويؤخذ فى الإعتبار أن لا يزيد المسطح المحصور بين الفاصل الطولى والعرضى بخرسانة التبطين عن ١٢-١٦ متر مربع.

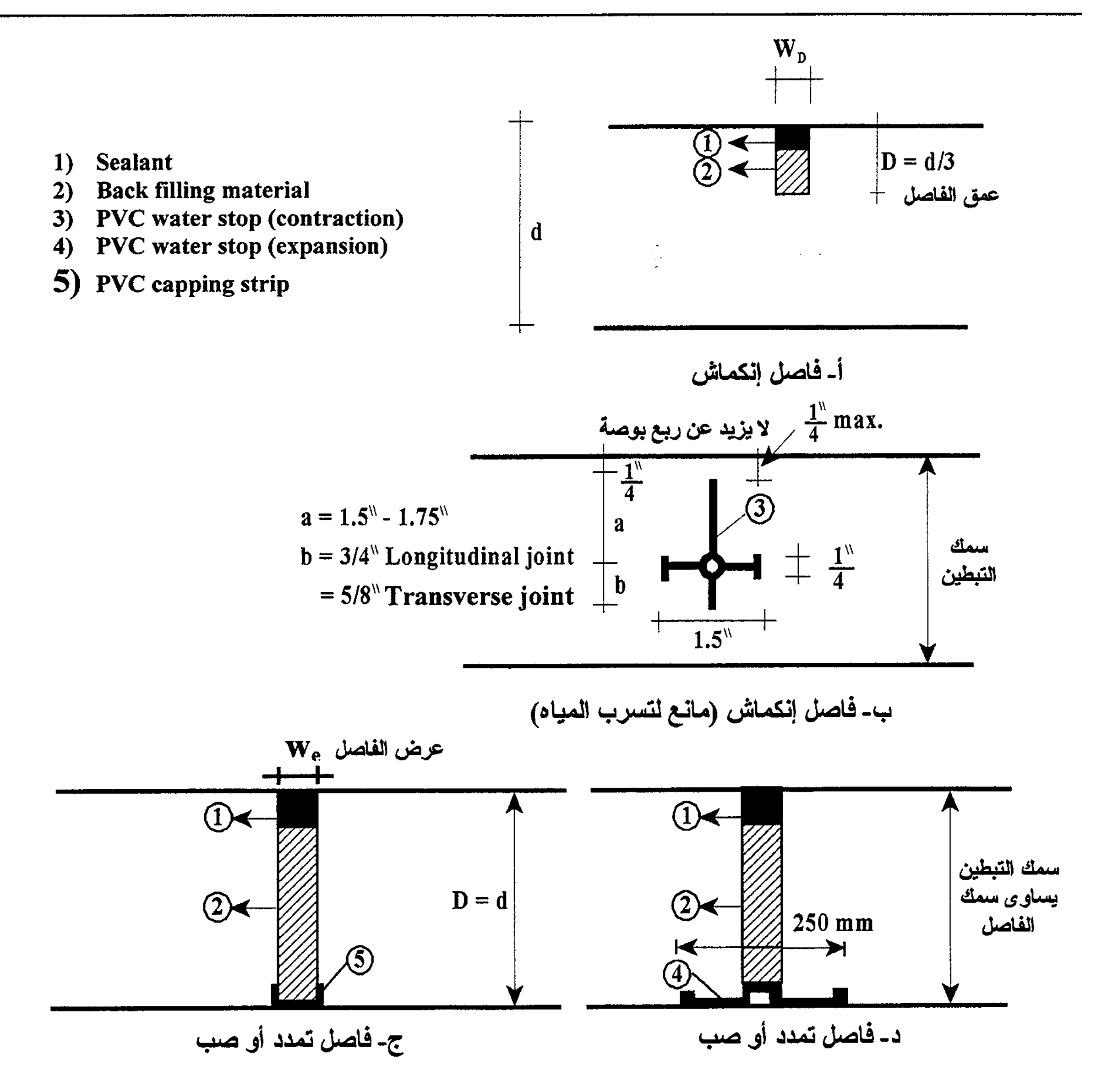
ب- فواصل التمدد فى الاتجاه العرضى للمجرى وبكامل سمك بلاطة الخرسانة تملأ بالمواد المناسبة المحددة بالمواصفات.

ويراعى أن المسافات بين فواصل التمدد هى كل ٣٠-٤٠ متر وعلى وجه العموم كل عشرة فواصل إنكماش بينها فاصل تمدد.





شكل (١-١٢) أنواع الفواصل فى تبطين الترع



شكل (١-١٣) تفاصيل فواصل الإنكماش والتمدد والصب المستخدمة فى تبطين الترع من الخرسانة الأسمنتية

ج- فواصل الإنشاء (الصب) وهى إما طولية موازية لمحور المجرى وهى التى تؤخذ فى نهاية القدمة على القاع عند إستخدام ماكينات تبطين نصف القطاع ، وإما عرضية عند موقع إيقاف الصب سواء كان لنهاية يوم عمل أو إنتهاء الوردية ويحسن التنسيق بحيث يكون فاصل الإنشاء (الصب) العرضى فى ذات موقع فاصل التمدد.

٢- مقاسات الفواصل

عمق الفاصل (d)

- فاصل الإنكماش هو تجويف بعمق ٣/١ سمك بلاطة التبطين.
- أما فاصل التمدد وفاصل الإنشاء (الصب) فهما بكامل سمك بلاطة التبطين.

عرض الفاصل (W_D)

يلزم مراعاة أن عرض فتحة الفاصل (W_D) يجب ألا يكون فى أى وقت أقل من العرض اللازم لتكييف حركة الخرسانة. والمعلومات الهامة والمؤثرة فى حساب وتحديد عرض الفاصل هى :

أ- مدى تغيير درجات الحرارة التى يتعرض لها سطح خرسانة التبطين (ΔT) وهى الفرق بين أعلى وأدنى درجة حرارة.

ب- معامل التمدد الطولى للخرسانة (α) ويؤخذ (١١,٧ x ١٠^-٦^ مم / مم / ° م).

ج- معامل تكييف حركة المادة الأمامية للفاصل مع حركة تمدد الخرسانة (M.A.F) Movement Accomodation Factor .

د- المسافة بين الفواصل (L_m)

ويمكن حساب عرض الفواصل بإستخدام المعادلات التالية :

$$M_t = L_m \alpha \ \Delta T \qquad \text{..................................}(1-19a)$$

$$W_D = \frac{M_t \times 100}{M.A.F(\%)} + M_t \qquad \text{...}(1-19b)$$

حيث

M_t = المسافة التى تتحركها الخرسانة (مم)

W_D = عرض الفاصل (مم)

تجهيز الفواصل لقبول مواد الملء

- يجب أن تكون فواصل الإنكماش والتمدد والصب نظيفة تماما حتى لا تعوق إلتصاق وتماسك مادة الفاصل مع الجوانب الخرسانية.
- بعد فتح الفواصل يتم تنظيفها بخليط الماء والهواء المضغوط لإزالة رواسب الخرسانة منها مثل رايش قطع الخرسانات أو الصنفرة بالفرش السلك.
- بعد غسيل الفواصل بالهواء المضغوط مع الماء يجرى صنفرة الفواصل بالهواء المضغوط المحمل بالرمل لضمان نظافة سطح الفاصل تماما وهى العملية المعروفة بـ Sand blasting .
- يتم نفخ الفواصل بعد إنتهاء عملية الصنفرة ويجرى النفخ بواسطة الهواء المضغوط لإزالة أى بقايا من الرمل والصنفرة والتأكد من جفاف الفتحات من المياه والرطوبة.
- ويحظر إستخدام مذيبات لعملية النظافة بسبب مسامية الخرسانة.

بعد التأكد من نظافة تجويف الفواصل وفقا لهذه الإشتراطات يتم دهان أسطحها بالبريمر (Primer) تمهيدا لملئها بمواد ملء الفواصل.

مواصفات مواد الفواصل

يتم ملء تجويف فواصل الإنكماش والتمدد والصب فى أعمال تبطين المجارى المائية بمواد ذات مواصفات طبيعية وكيميائية خاصة مطابقة للمواصفات الأمريكية ASTM C920 والبريطانية BS4254 وتنقسم مواد ملء الفواصل إلى :

- المادة الأمامية Sealant وهى المانعة لمرور المياه خلال الفاصل.
- المادة الخلفية وهى الحاملة للمادة الأمامية.

أ- مواصفات المادة الأمامية

- يجب أن تكون من مـــادة مرنة ممطوطـــة Elastomeric وأن تكون مقـــاومة للهبوط Slump resistant فى درجات الحرارة العالية.
- يلزم أن تكون لها خصـائص سهولة التشغيل ذات لزوجة عالية تضمن جودة الإلتصـاق مع سطح الخرسانة وتجانس التكوين.
- أن يكون إنكماشـها بعد الملء قليلا للغاية وأن تكون ذات مقاومة عالية للإجهاد. وأيضا مقاومة عالية للإنسياب والإرتخاء.
- يلزم مراعاة أن يكون معامل تكييف حركة المادة مناسبا لحركة الخرسانة فى التمدد والإنكماش.

ولعل أفضل أنواع المواد الأمامية لفواصل تبطين المجارى المائية :

- مادة البوليسالفيد Polysulphide .
- مادة البيتومين المطاطى Rubber bitumen .

وإن كانـت مـادة البوليسـالفيد تتميز فـى مواصـفاتها عن البيتوميـن المطـاطى ولـهذا يفضل إستخدامها فـى المشروعات التـى تتعرض لظـروف جوية يتسع فيها مدى إختلاف درجات الحرارة أو التى تتعرض فيها المـادة الأمامية للفواصـل Sealant لتدفقات التيارات الدوامية بسرعاتها المرتفعة (السرعات القصوى المسموح بها لا تتعدى ٥ متر / ثانية ، ١,٥ متر / ثانية لمـادتى البوليسـالفيد والبيتوميـن المطـاطى على التوالى).

ب- مواصفات المادة الخلفية

تستخدم هذه المـادة فى حشو الجزء الخلفى من الفاصل كما هو موضح فى الأشكال (١-١٣) أ ، ب ، ج سواء لفواصل الإنكماش أو التمدد أو الصب ولذلك يجب أن تكون ذات مواصفات خاصة هى :

- مقاومة للتحلل والعفن Rot proof .
- لا تمتص المياه Non absorbant .
- قابلية للإنضـغاط علـى أن تعود للحجم الأصلى بعد إنتهاء القوة الضـاغطة نتيجة حركة الخرسـانة ويمكن إستخدام برنيطة من الـ بى فى سى PVC capping لحماية المادة الخلفية فى فواصل التمدد والصب كما هو موضح بالشكل (١-١٣) ج.

ج- مانعات المياه فى فواصل الإنكماش والتمدد والصب

تستخدم مانعات المياه PVC water stops فى فواصل الإنكماش والتمدد والصب وبالأبعاد الآتية :

فواصل الإنكماش Contraction joints كما فى الشكل (١-١٣) ب
العرض ١,٥″
البعد (a) ١,٥″ - ١,٧٥″
(b) ٣/٤″ فى الفواصل الطولية ، ٥/٨″ فى العرضية

فواصل التمدد والصب Expansion and contraction
وتكون بعرض أقله ٢٥٠ مم وذلك كما هو موضح فى الشكل (١-١٣-د).

١-٤-١-٨ أعمال حماية التبطين

يلزم الإهتمام بالأعمال التى تساعد على حماية التبطين وصيانته كالحماية من الضغط الهيدروستاتيكى للمياه الأرضية والحماية من مياه الرشح وأيضا عمل السلالم الخاصة بالأمان والصيانة.

حماية التبطين من الضغط الهيدروستاتيكى للمياه الأرضية

عند تبطين الترع فى أراضى المناطق التى تتعرض لإرتفاع موسمى فى مناسيب المياه الأرضية ونظرا لقيام التبطين بمنع التسرب فإن الأراضى المحيطة بجسم الترعة تكون فى حالة صرف حر إلى أسفل. وعندما تكون الترعة غير مملوءة بالمياه فإن المياه الأرضية المحيطة بجسم الترعة (إذا كانت عالية المناسيب) تحدث ضغطا هيدروستاتيكيا من الخارج إلى الداخل يؤثر على التبطين إلى حد الكسر تحت تأثير قوى التعويم إلى أعلى. وتحدث الظاهرة أيضا فى حالة وجود طبقات غير منفذة للمياه تعمل على منع الصرف الحر إلى أسفل ورفع مناسيب الماء الأرضى فى المناطق المتاخمة للترعة.

وفى كل الحالات فإن العلاقة بين منسوب قاع الترعة ومنسوب المياه الأرضية من الأهمية بمكان فى تحديد الضاغط الهيدروستاتيكى الذى تتعرض له خرسانة التبطين ويلزم حماية التبطين بإنشاء مصارف تحت قاع الترعة لصرف المياه بعيدا عن جسم الترعة وهناك نوعان رئيسيان لهذه المصارف :

النوع الأول

يتم إنشاء مصرف أو أثنين من مرشح متدرج من الرمل والزلط بقطاع ٠,٦٠ x ٠,٦٠ متر تحت تبطين قاع الترعة وموازى للمحور الطولى للترعة مع تثبيت محابس عدم إرتداد قلابة Flap valves على مسافات من ٦ إلى ٨ متر على طول الترعة وبطريقة رجل غراب Staggered كما هو موضح بالشكل (١-١٤). ويتم تغليف صندوق المرشح بنسيج صناعى من مادة البولى بروبلين Polyproplene fabrics وذلك بغرض منع حبيبات التربة الدقيقة من سد مسام المصرف أو فتحات Flap valve الذى يتكون من ماسورة معدنية أو PVC قطر ١,٥″ وبطول حوالى ٤٠ - ٥٠ سم منها مسافة بها ثقوب قطر ٠,٥″ على مسافات كل ٠,٢٥″ بنظام رجل غراب كل ١″ وللمحبس غطاء قلاب يعمل أتوماتيكيا تحت تأثير الضاغط الهيدروستاتيكى لصرف المياه الضاغطة على التبطين إلى أن يتوازن هذا الضاغط ويتميز بعدم الإرتداد. ويوضح الشكل (١-١٥) تفصيلات هذه المصارف والصمامات القلابة وينبغى ألا يزيد مقاس حبيبات الركام فى المرشح عن ١,٥″ .

النوع الثانى

يتم عمل مصرف من مادة المرشح (رمل وركام متدرج) وبذات المواصفات بالبند السابق ، إلا أنه بدلا من إستخدام Flap valve يتم وضع ماسورة صرف بقطر ٤″ - ٦″ بطول المرشح وفى وسطه وتتصل هذه الماسورة بماسورة تجميع توصل إلى بيارة تجميع المياه التى يتم صرفها بطلمبة تركب على هذه البيارة وهو كالموضح بالشكل (١-١٦).

حماية التبطين من مياه الرشح

تؤخذ الإحتياطات اللازمة التى تضمن منع رشح وتسرب المياه بالترع المبطنة بالخرسانة وذلك بإتباع أحدى الطريقتين الآتيتين أو كليهما حسب الظروف لمقاومة الرشح وهى :

١- إضافة مادة لخلطة خرسانة التبطين من مواد الإضافة التى تساعد على الحصول على خرسانة غير منفذة للمياه مانعة للرشح والتسرب كمادة السيلكافيوم وهى مادة المكون الأساسى لها أكسيد السيلكا (SiO_2) ونسبة الإضافة النمطية للمادة على خلطة الخرسانة من ١٠ – ١٥ % من وزن الأسمنت.

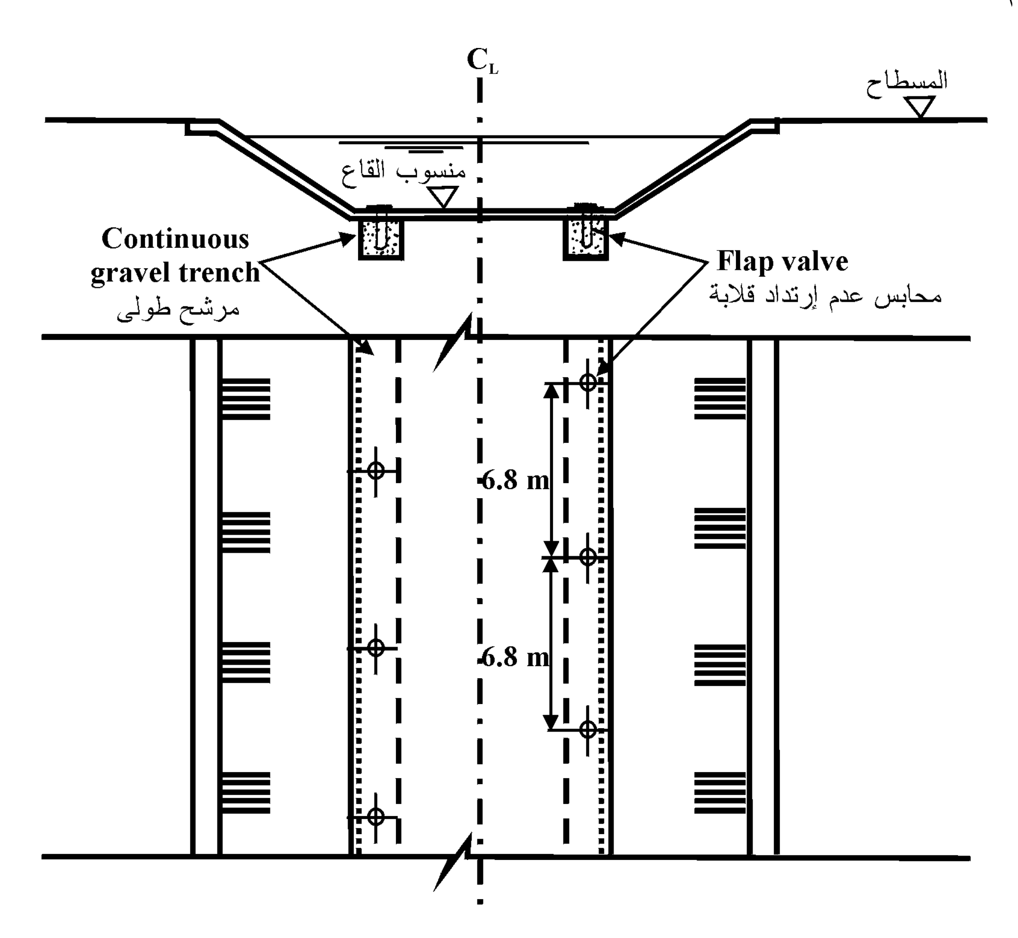
٢- وضع وفرد نسيج صناعى غير منفذ للمياه على كامل قطاع الترعة بدءا من القدمة العليا للتبطين والميول الداخلية للترعة والقاع.

سلالم الأمان والصيانة

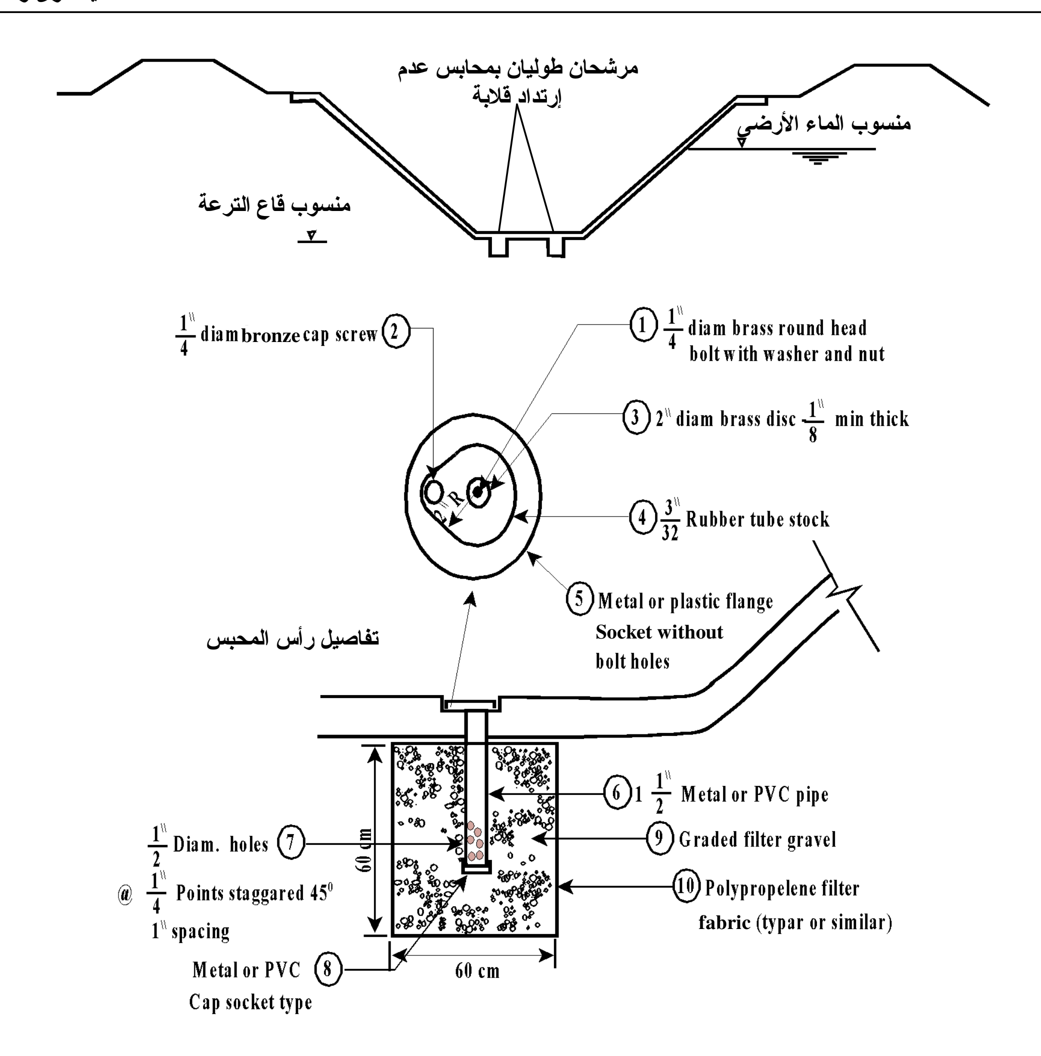
يتم تثبيت سلالم الأمان والصيانة فى حالة ما إذا زاد إرتفاع عمق قطاع الترعة عن ١,٠ متر.

وتثبت هذه السلالم على الميول الجانبية لقطاع الترعة بالبر الأيمن والأيسر وعلى مسافات على طول الترعة من ٢٠٠ - ٢٥٠ متر وبطريقة رجل غراب بين البرين.

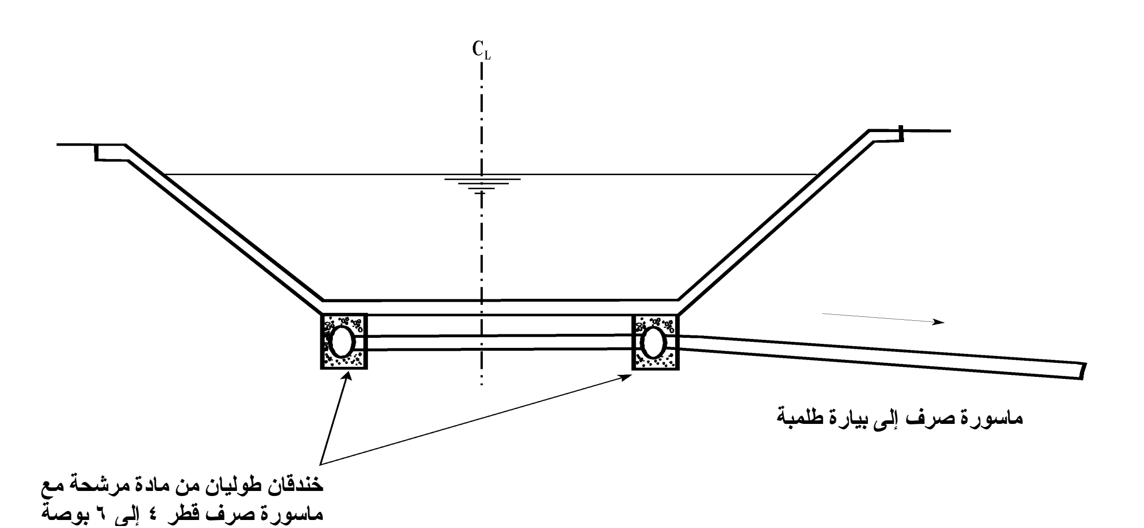
ويتم تثبيت هذه السلالم والخرسانة طرية وفق التفصيلات الموضحة بالشكل (١-١٧) لنموذجين لهذه السلالم.



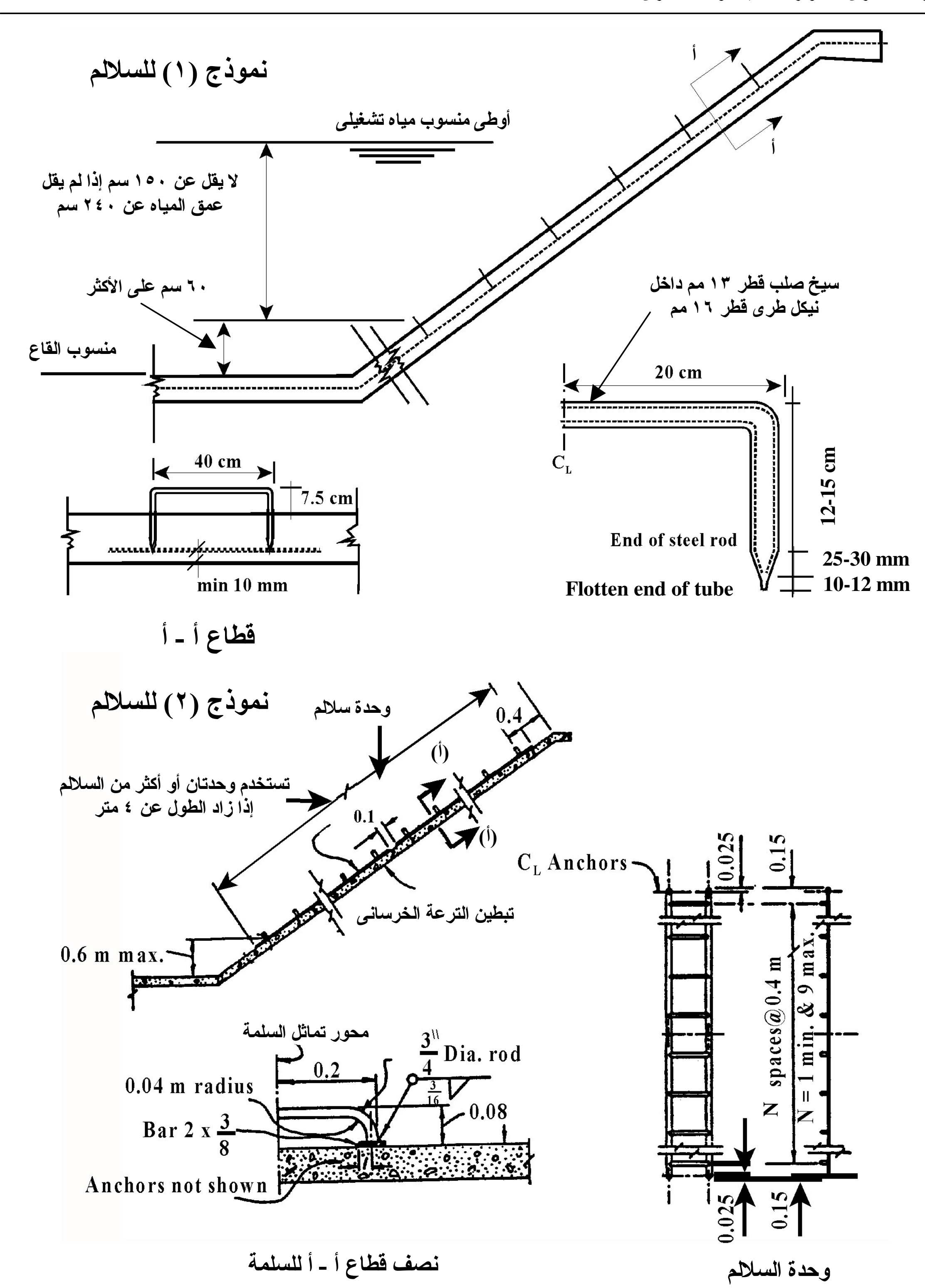
شكل (١-١٤) مواقع وترتيب محابس عدم الإرتداد القلابة



شكل (١-١٥) تفاصيل محبس عدم الإرتداد القلاب ومرشح الرمل والزلط



شكل (١-١٦) خنادق صرف طولية مزودة بمواسير



شكل (١-١٧) سلالم الأمان والصيانة لترع مبطنة بالخرسانة

١-٤-٢ التبطين بالخرسانة الأسفلتية Asphalt Concrete Lining

يستخدم التبطين بالخرسانة الأسفلتية كبديل للتبطين بالخرسانة الأسمنتية غير المسلحة وذلك فى الشبكات ذات القطاعات الصغيرة كالمساقى والمراوى ، حيث تكون تكلفة الأسفلت منخفضة بالقدر الذى يعادل توقعات قصر عمر التبطين بالخرسانة الأسفلتية ، وأيضا حيث يتوافر الركام والمواد المناسبة المكونة للخرسانة الأسفلتية والتى تقل فى مواصفاتها عن تلك المستخدمة فى الخرسانة الأسمنتية.

١-٤-٢-١ ضمان صلاحية التربة خلف التبطين

من الإشتراطات الأساسية لضمان نجاح تبطين مجارى الرى بالخرسانة الأسفلتية أن تكون التربة الحاملة للتبطين صلبة مستقرة تنطبق عليها الإشتراطات الخاصة بالبند ١-٤-١-٢ .

ومن الأمور الهامة التى تؤخذ فى الإعتبار ضرورة التأكد من خلو التربة الحاملة للتبطين من الأعشاب أو إحتمالات نموها مستقبلا لما لها من أضرار بالغة على التبطين.

إحتياطات منع نمو الأعشاب

تمثل الأعشاب طاقة كافية كمصدر خطر ضار للخرسانة الأسفلتية خاصة عندما تتهيأ ظروف وأسباب نمو هذه الأعشاب كتلوث التربة تحت التبطين ببذور الأعشاب أو رطوبة التربة التى تساعد على توالد بذور الأعشاب مما يساعد على نمو جذورها.

ولهذا ينصح بضرورة معالجة التربة الحاملة للتبطين بإستخدام المعقمات خاصة إذا كان التبطين بالخرسانة الأسفلتية سيتم لتربة خصبة لنمو الأعشاب وتستخدم هذه المعقمات على هيئة كيماويات أو مشتقات البترول ، بعد حرق الأعشاب الموجودة وحرث جذورها بالتربة ثم تعقيمها بإستخدام محلول كلورات الصوديوم بنسبة تركيز ٥ % فى المياه وبمعدل ٢ لتر / المتر المسطح حيث أن ذلك يعطى نتائج طيبة لعملية التعقيم.

ومن طرق المعالجة الكيمائية المتبعة إضافة بوراكس إلى كلورات الصوديوم فى حالته الصلبة وذلك بنسبة ١٠ : ٤ ونثرها على سطح التربة التى سيتم فرد الخرسانة الأسفلتية للتبطين عليها.

ومن مركبات تعقيم التربة ضد نمو الحشائش تلك المكونة من البنتا كلوروفينول المضاف لمركب من ناتج تقطير النفط والكلورات والبورون المذابة فى المياه ، ويمكن إستخدام هذا المحلول بالرش على سطح التربة بمعدل ٢٧٥ جم / $م^٢$ حيث وجد أن هذا المعدل مناسب وكاف لعملية تعقيم الأرض. ويلزم ترك التربة بعد ذلك دون قلقلة لفترة لا تقل عن ٤ أيام بعد عملية الرش.

وفى حالة ما إذا كانت الأعشاب من تلك التى تتميز بالجذور الطويلة فإنه يلزم حقن التربة بهذه المحاليل كل ٤٠ سم وبعمق حتى ٣٠ سم.

١-٤-٢-٢ حالات تسليح خرسانات التبطين الأسفلتية

إضطر المنفذون فى بعض الأحوال لتسليح التبطين بالخرسانة الأسفلتية بإستخدام الشبك السلكى خاصة فى الأراضى المروية ، وبالتجارب المستمرة وجد أن تسليح الخرسانة الأسفلتية فى تبطين مجارى الرى غير ذى جدوى.

١-٤-٢-٣ سمك التبطين بالخرسانة الأسفلتية

يلزم مراعاة أن يصل سمك الخرسانة الأسفلتية إلى الحد الكافى لضمان تحقيق كتامة المياه. وهناك علاقة بين سمك التبطين وحجم قطاع الترعة وهى الموضحة فى الشكل (١-٧). وعلى وجه العموم لما كان من المتبع حاليا إستخدام الخرسانة الأسفلتية فى تبطين الترع وفروعها ذات القطاعات الصغيرة ففى هذه الحالات يكتفى أن يكون سمك التبطين من ٤-٥ سم وفى الترع ذات القطاعات الكبيرة يمكن الوصول بالسمك إلى ١٠ سم.

١-٤-٢-٤ تصميم خلطة الخرسانة الأسفلتية

يتم عمل التجارب المعملية للوصول إلى خلطة الخرسانة الأسفلتية التى تتميز بدرجة تشغيل عالية ولكى تكون خلطة الخرسانة الأسفلتية غير منفذة للمياه يلزم مراعاة الآتى :

أ- أن يكون تدرج الركام فى الخلطة كالآتى :

فتحة المنخل	نسبة المار
١٩,٠٥ سم	١٠٠ %
١٢,٧٠ سم	٨٥ - ١٠٠ %
رقم ٤	٥٥ - ١٠٠ %
رقم ١٠	٣٥ - ٦٠ %
رقم ٤٠	١٨ - ٣٠ %
رقم ٢٠٠	١٢ - ٥ %

ب- أن تكون نسبة الأسفلت فى الخلطة من ٧ - ١٠ % .

ج- يراعى إستخدام الأسفلت الصلب Solid asphalt الذى تتراوح درجة إختراقه ما بين ٥٠ - ٦٠ حيث أوضحت التجارب والممارسة أنه يعطى خلطة ذات مواصفات أكثر جودة من الأسفلت الخفيف الذى تبلغ درجة الإختراق فيه من ١٠٠ - ٢٠٠ .

أنواع خلطات الخرسانة الأسفلتية للتبطين

يمكن إستخدام الخرسانة الأسفلتية بنوعيها وهى الخلطة على البارد أو الخلطة على الساخن ، وفيما يلى الأسس العامة والمواصفات الخاصة بهذه الخلطات :

١- الخرسانة الأسفلتية على البارد

تعمل الخلطة على البارد على درجات حرارة منخفضة نسبيا وتكون درجات الحرارة السائدة ما بين ١٨ - ٤٠° مئوية ومن عيوب إستخدام خلطة الخرسانة الأسفلتية على البارد فى أعمال التبطين طول الفترة الزمنية اللازمة للمعالجة قبل أن يكتسب التبطين الدرجة المطلوبة من التماسك. ذلك بالإضافة إلى أن بعض الخلطات على البارد قد تستمر فترات ممتدة طرية دون شك بينما أخرى تتكمش نتيجة وصولها درجات المعالجة مما يترتب عليه حدوث شروخ فى التبطين يلزم معالجتها بملئها بمعجون من مونه الرمل والأسمنت.

٢- الخرسانة الأسفلتية على الساخن

فى الخرسانة الأسفلتية على الساخن يتم إضافة الأسفلت على الخلطة بعد تسخينه لدرجة حرارة ٢٠٤° مئوية.

ويلزم ضمان إنتظام وتجانس خلطة الخرسانة الأسفلتية وتحاشى وجود فراغات هوائية حيث أن ذلك يضمن حسن أداء الخرسانة الأسفلتية ولذلك يلزم إعداد الخلطة الأسفلتية فى محطات عالية الكفاءة.
وفى الحالتين بعد إتمام خلطة الخرسانة الأسفلتية فى محطة الخلط يتم نقلها لمواقع العمل فى سيارات قلاب.

١-٤-٢-٥ طرق ومعدات التنفيذ

فى الخرسانة الأسفلتية على البارد يتم رمى وصب الخرسانة للتبطين إما يدويا بنثرها بجاروف وتسويتها بإستخدام المدمة Rakes وهى قدة لتسوية الأسطح ذات ذراع طويلة للتحكم فيها أو ميكانيكيا بإستخدام صندوق نثر الخرسانة الأسفلتية Spreader box على الميول أو بإستخدام فينشر الأسفلت Asphalt finisher فى القاع كالمستخدم فى الطرق الأسفلتية.

ويتم دمك طبقة الخرسانة الأسفلتية بطرق متعددة منها الدك بإستخدام الدكاك القرصى Plate compactor الذى يتم تشغيله يدويا أو بالهرس بإستخدام الهراس الهزاز Vibrating compactor .

ومن المتبع الوصول بكثافة الإنضغاط إلى حد لا يقل عن ٩٤ - ٩٦ % كما أنه لا تعمل فواصل فى التبطين بالخرسانة الأسفلتية ولا تحتاج لأى معالجة.

أما فى حالة الخرسانة الأسفلتية على الساخن فإنه بالإضافة إلى إستخدام الأسلوب والمعدات الموضحة فى الخرسانة الأسفلتية على البارد فإنه يفضل إستخدام الفرمة المنزلقة Slip form والذى يتم تغذيتها بمخلوط الخرسانة الأسفلتية الموردة للموقع بالسيارات القلاب عن طريق مزراب حيث يقوم جهاز توزيع الخرسانة بالآلة بفردها وفرشها على قطاع تبطين الترعة بقطاع منتظم السمك بالإضافة إلى الماكينة المزودة داخليا بهزاز أسطوانى لزيادة دمج وضغط الخرسانة لإعطاء الخرسانة كثافة عالية وكتامة للمياه وسمكا منتظما.

١-٤-٣ التبطين بمكدام الأسفلت Asphalt Macadam Lining

١-٤-٣-١ خلطة التبطين بمكدام الأسفلت

التبطين بمكدام الأسفلت عبارة عن طبقة من الخرسانة الأسفلتية بركام خشن كبير نسبيا عن ذلك المستخدم فى الخرسانة الأسفلتية مخلوط بالأسفلت وفق النسب والمعايير السابق ذكرها بالبند (١-٤-٢-٤) الخاص بتصميم خلطة الخرسانة الأسفلتية وذلك لتعطى خلطة لتكوين تبطين بسطح مرن مقاوم للنحر ، وإن دلت التجارب أنه ليس من المتيسر عمليا إنشاء تبطين مكدام الأسفلت كاتما تماما للمياه بدون إستخدام كميات كبيرة من الأسفلت.

١-٤-٣-٢ ضمان صلاحية التربة خلف التبطين

لضمان نجاح التبطين يلزم أن تكون التربة الحاملة للتبطين صلبة مستقرة تنطبق عليها الإشتراطات الخاصة بالبند (١-٤-١-٢) وأجزائه ، كما يلزم إتخاذ خطوات إحتياطات منع نمو الأعشاب كما ورد بالبند (١-٤-٢-١).

١-٤-٣-٣ سمك تبطين المكدام والتسليح وطرق التنفيذ

من التجارب المتعددة رؤى أن السمك المناسب لتبطين المجارى المائية بمكدام الأسفلت ١٠ سنتيمترات. وفى بداية تجارب التبطين بمكدام الأسفلت لوحظ أن الشروخ ممتدة خلال التبطين حتى طبقة الأساس ولهذا تم اللجوء لتجربة تسليح تبطين مكدام الأسفلت وفى متابعة لأحد هذه التجارب وجد أن التبطين ظل على حالة حسنة بعد عشر سنوات من الإنشاء.

وعند تنفيذ التبطين بمكدام الأســفلت يتم إتباع نفس طرق التنفيذ والمعــدات المنصوص عليها بالبند (١-٤-٢-٥) الخاص بطرق ومعدات التنفيذ للتبطين بالخرسانة الأسفلتية. ويجدر الإشارة إلى أن خرسانة التبطين بمكدام الأسفلت التى توزع على القطاع بالحفاز Catalytically blown تعطى مكداماً أسفلتياً ثابتا مستقرا وتبدو أجزاء الركام الحرش منغمسة ومحاطة تماما بالأسفلت.

وقد دلت التجارب أنه ليس عمليا إنشاء تبطين بمكدام الأسفلت كاتما كلية للمياه بدون إستخدام كميات كبيرة من الأسفلت ، ولهذا فإنه بصفة عامة لا يوصى بالتوسع فى إستخدام المكدام فى التبطين ويكتفى بإستخدامه فى حالات تثبيت التربة أو كغطاء عند إستخدام التبطين بغشاء مقاومة التسرب كما سيأتى تفصيله لاحقا.

١-٤-٤ التبطين بالخرسانة المقذوفة (شوتكريت) Shotcrete Concrete Lining

تتكون الخرسانة المقذوفة من مونة الأسمنت والرمل ويتم صبها بطريقة القذف بالهواء المضغوط Pneumatic pressure .

وتستخدم خرسانة الشوتكريت فى معالجة أسطح التبطين بالخرسانة الأسمنتية التى تعرضت للتلف وقد أعطت هذه العملية نتائج طيبة ، كما تستخدم فى تبطين فروع الرى المنشأة حديثا ومن أهم مميزات إستخدام خرسانة الشوتكريت فى التبطين :

- إمكانية تغطية الأسطح الصخرية وملء الفراغات الناتجة من التفجير أو التكسير وذلك للوصول إلى سطح ثابت مستو صالح لوضع التبطين.
- طريقة تنفيذ التبطين بإستخدام الشوتكريت تسمح بإستمرار تبطين القطاع حتى مماسات الأعمال الصناعية المقامة على المجرى بعكس التبطين بالخرسانة الأسمنتية المنفذ بإستخدام الفرمات المنزلقة حيث يضطر لترك مسافة أمام وخلف الأعمال الصناعية يتم تشغيلها يدويا.

ومن عيوب خرسانة الشوتكريت أنها تقتصر فى مكوناتها على الأسمنت والرمل بدون إضافة ركام زلطى ويستخدم الأسمنت فيها بنسب تزيد عن المستخدم فى مكونات الخرسانة الأسمنتية مما يجعل الشوتكريت أكثر عرضه للشروخ والكسر نظرا لحاجة الخلطة لكميات أكبر من المياه.

وهذا النوع من التبطين ليس إقتصاديا بالمقارنة بالتبطين بالخرسانة بإستخدام الفرم المنزلقة فى حالات الترع ذات القطاعات الكبيرة وذلك لا يرجع فقط إلى بطء معدل التبطين بالشوتكريت عن معدل التبطين بالخرسانة الأسمنتية بإستخدام الفرم المنزلقة لكن أيضا قد أثبتت الدراسات الإقتصادية أن تكلفة التبطين

بالشوتكريت سمك ١,٥ بوصة أكبر من تكلفة التبطين بالخرسانة الأسمنتية سمك ٢ بوصة إذا كانت الظروف مناسبة لإستخدام الفرم المنزلقة.

١-٤-٤-١ مكونات الخرسانة المقذوفة (الشوتكريت)

تتكون خلطة الخرسانة المقذوفة التى تستخدم فى التبطين من الأسمنت والرمل بنسبة ١ : ٤,٥ بالوزن وهى النسبة النمطية المعتادة عند فوهة التغذية.

ونسبة المياه للأسمنت (W/C) النمطية هى ٠,٥٧ وهى أقصى نسبة تضمن عدم حدوث إنفصال خاصة فى حالة الميول الجانبية لقطاع الترعة.

ويلزم مراعاة مطابقة تدرج الرمل المستخدم فى الشوتكريت مع التدرج القياسى الخاص برمل الخرسانات حسب ما سبق عرضه بالبند (١-٤-١-٣) الخاص بمواصفات المواد المكونة لخرسانات التبطين. وأكبر حجم لحبيبات الرمل هى بقطر ٣/١٦ بوصة. ويفضل أن تكون الحبيبات صلبة وألا تتفتت عند مرورها بفوهة التغذية (القذف) تحت تأثير قوة الدفع ، ويراعى عند تجهيز الخلطة عدم زيادة نسبة الرمال ذات الأقطار الدقيقة Fine حيث أن هذه الزيادة تحتاج إلى كميات زائدة من مياه الخلط حتى تصل الخلطة إلى حد اللدونة المطلوبة وذلك يترتب عليه نتائج سلبية للخلطة كتقليل قوتها وفى ذات الوقت زيادة الإنكماش عند الوصول لحالة الشك ، ويلزم مراعاة إحتواء الرمل على نسبة من الرطوبة من ٣ إلى ٦ % للمساعدة فى رفع كفاءة تشغيل المعدات حيث أنه إذا كان الرمل شديد الجفاف فإنه يعمل على صعوبة إنتظام تدفق الخرسانة وأيضا يساعد على زيادة المرتد من الخرسانة أثناء التشغيل وذلك لزيادة قابلية وإحتمالات إنفصال ركام الرمل والأسمنت. بينما الرمال المبتلة بنسبة عالية فإنها تخلق إنسدادات متكررة فى المعدات وخرطوم التدفق. كما ينصح بعدم إستخدام الركام الحرش فى خرسانة الشوتكريت لتقليل نسبة الإرتداد وللمساعدة فى الحصول على سطح أملس. ويرجع هذا الإرتداد المشار إليه إلى السرعة العالية التى يتم بها قذف الخليط من فوهة التدفق وذلك عند إصطدامها بالأسطح التى يتم تغطيتها بخليط الشوتكريت ونتيجة لذلك فإن جزءا من خليط الخرسانة يرتد مرفوضا نتيجة الوثبة المفاجئة ، وتصل نسبة المرتد من خرسانة الشوتكريت عند صبها إلى ٢٥ % فى حالة الميول الجانبية لقطاع المجرى وتصل إلى ٢٠ % فى حالة الأسطح الأفقية كقاع المجرى وتزداد هذه النسبة مع زيادة سرعة القذف من فوهة التصرف.

وعلى وجه العموم فإنه فى حدود تماسك قوام الخليط المعتاد ومع ثبات العوامل الأخرى فإن كمية الإرتداد تتناسب عكسيا مع نسبة المياه للأسمنت W/C حيث أنه كلما زادت المياه فإن الخليط يصبح أكثر لدونة وتماسكا وله قابلية أكبر للإلتصاق بالأسطح. وبالرغم من أن زيادة المياه بالخلطة يقلل من كمية المرتد فإنه يلزم الحذر فى أن تكون كمية المياه محددة إلى الدرجة التى لا تعمل على إنفصال وإنزلاق الشوتكريت بعد قذفها وفردها.

١-٤-٤-٢ سمك التبطين بالخرسانة المقذوفة (الشوتكريت)

من المتبع أن لا يقل سمك التبطين بالشوتكريت عن ٤ سم. ويزيد تبعا لزيادة القطاع حيث يكون أقصى سمك آمن ١٠ سنتيمترات. ويذكر أنه وفقا للطريقة المتبعة فى فرد خرسانة الشوتكريت للتبطين فإنه يصعب التحكم فى المحافظة على إعطاء التبطين سمكا منتظما الأمر الذى يترتب عليه إحتمالات وجود مسطحات ضعيفة فى التبطين.

١-٤-٤-٣ تسليح التبطين بالخرسانة المقذوفة (الشوتكريت)

يتم أحيانا تسليح تبطين الشوتكريت عندما تقتضى الظروف الإنشائية ذلك بإستخدام الشبك السلكى قطر ١٠ مم وذلك بأبعاد ١٠ x ١٠ سم أو ١٥ x ١٥ سم ويلزم العناية فى تثبيت شبك التسليح فى منتصف سمك التبطين وإلا سيكون غير ذى فاعلية بل من الممكن إعطاء نتائج عكسية.

١-٤-٤-٤ فواصل الإنكماش والتمدد والتشغيل للتبطين بالشوتكريت

يتم تنفيذ مساحات كبيرة من التبطين بالشوتكريت دون فواصل إنكماش أو تمدد بها. والحجة التى تؤيد التقليل من عمل الفواصل فى التبطين بالشوتكريت هى أن الشروخ عند حدوثها يتم ملؤها أولا بأول كما أن الصيانة اللازمة لها تتم بتكلفة أقل عما إذا أنشئت الفواصل مع التبطين إلا أن ظاهرة الإنبعاج ظهرت فى التبطين بالشوتكريت التى لم يتم تنفيذ فواصل بها تحت تأثير التمدد الحرارى.

ولهذا كان من الضرورى عمل فواصل للتبطين بالشوتكريت لا تقتصر عند مواقع الأعمال الصناعية لكن ضرورة عمل فواصل الإنكماش والتمدد والتشغيل (الصب) العرضية والطولية وفق القواعد والأسس المتبعة فى التبطين بالخرسانة الأسمنتية وهى الموضحة بالبند (١-٤-١-٧).

١-٤-٤-٥ تجهيز التربة الحاملة للتبطين

يراعى ضرورة الإلتزام بالمواصفات والإشتراطات الواردة بالبند (١-٤-١-٢) الخاص بالتربة الحاملة للتبطين.

وثبات التربة الحاملة للتبطين هام للغاية ، وإعداد هذه التربة لإستقبال التبطين بالشوتكريت يختلف بإختلاف الصفات المميزة للتربة ، فإذا كانت تربة القطاع صخرية ذات مميزات هيدروليكية مناسبة لا تتأثر بالمياه عند التعرض لها مثل ظاهرة الإنتفاخ فإنه يكتفى فى هذه الحالة بتسوية الأسطح على الميول بملء الفراغات الناتجة عن التفجير أو التكسير لتشكيل قطاع المجرى وذلك بمونة الأسمنت والرمل للوصول إلى سطح مستو يصلح للمحافظة على سمك منتظم للتبطين بالشوتكريت.

ويلزم مراعاة نظافة الأسطح تماما من الأعشاب والزيوت وكافة المواد التى تعطى آثارا سلبية للخرسانة كما يلزم رش أسطح التربة رشا خفيفا بالمياه قبل وضع خرسانة الشوتكريت.

١-٤-٤-٦ طرق خلط وصب الخرسانة المقذوفة (شوتكريت)

طرق الخلط

يتم صب خرسانة الشوتكريت فى وضعها النهائى بواسطة الهواء المضغوط وهناك أسلوبان لإنتاج الشوتكريت وهما الخلط على الناشف والخلط المبتل.

ففى حالة الخلط على الناشف يتم الخلط بعناية تامة مع الإحتفاظ بنسبة معقولة من الرطوبة لتحاشى الأتربة ثم يدفع الخليط لخرطوم التوصيل بالهواء المضغوط مع إضافة المياه عند فوهة الخروج (التدفق)، وفى حالة الخليط المبتل فيتم خلط المواد بالمياه لتكوين الخرسانة ثم يتم دفع الخليط فى خرطوم النقل ثم إلى الفوهة حيث يحقن بالهواء لزيادة السرعة. ويفضل فى تبطين الترع إستخدام الشوتكريت المخلوط على الناشف.

طرق الصب

للوصول للنتائج المفضلة لتبطين الترع بالخرسانة المقذوفة يلزم مراعاة أن تكون فوهة القذف (التدفق) عمودية وعلى مسافة أقصاها ٣ أقدام من السطح المطلوب تبطينه بالشوتكريت. ويوضح الشكل (١-١٨) صب خرسانة شوتكريت مع وجود شبك حديد تسليح حيث تخرج خرسانة الشوتكريت مقذوفة من فوهة التصرف تحت تأثير الضغط علما بأن أقل ضغط هواء يتناسب مع الخرطوم الذى يقل طوله عن ١٠٠ قدم (حوالى ٣٥ متر) هو ٤٥ باوند / البوصة المربعة (٣,٢ كجم / سم^{2}) ويراعى زيادة الضغط بمقدار ٥ باوند / البوصة المربعة (٠,٤ كجم / سم^{2}) لكل ٥٠ قدم (حوالى ١٥ متر) تزيد فى طول الخرطوم عن ١٠٠ قدم (٣٥ متر).

وتعتمد السرعة المناسبة لمخلوط الخرسانة المقذوفة من فوهة التدفق على قطر الفوهة ، وعلى سبيل المثال فعندما يكون قطر فوهة التدفق ١,٢٥ بوصة (٣,٢ سم) فإن السرعة المتوسطة المناسبة للقذف هى ٤٢٥ قدم / ثانية (١٤٥ متر / ثانية) وتختلف سعة كمبرسور التشغيل المولد للهواء المضغوط بإختلاف أقطار خرطوم نقل المخلوط وفوهة التدفق وذلك كمل هو موضح بالجدول (١-٥).



شكل (١-١٨) صب خرسانة الشوتكريت فى قطاع ترعة مع إستخدام شبك تسليح

جدول (١-٥) علاقة ضغط هواء التشغيل بقطر فوهة التدفق وسعة مولد الضغط (الكمبرسور) لمعدة صب الشوتكريت

سعة مولد الضغط (الكمبرسور) م^{3} / م	قطر الخرطوم (سم)	قطر فوهة التدفق (سم)	ضغط هواء التشغيل المتاح (كجم / سم^{2})
٧,٠٠	٢,٥٠	١,٩٠	٢,٨٠
٨,٨٠	٣,٢٠	٢,٥٠	٣،٢٠
١٠,٢٠	٣,٨٠	٣,٢٠	٣,٩٠
١٤,٠٠	٤,١٠	٣,٨٠	٤,٦٠
١٦,٨٠	٤,٤٠	٤,١٠	٥,٣٠
٢١,٠٠	٥,٠٠	٤,٤٠	٦,٠٠

ويراعى فى حالة الشوتكريت على الناشف أنه من اللازم أن يكون ضغط المياه أعلى من ضغط هواء التشغيل لضمان الابتلال الكامل للخليط عند الفوهة وليعطى فنى تشغيل الفوهة إمكانية سريعة للتحكم الإيجابى فى عملية الفرد.

وفيما يلى بيان الحد الأقصى والحد الأدنى ومتوسطات ضغط هواء التشغيل وضغط المياه وعلاقتها بطول الخرطوم.

	الحد الأقصى	الحد الأدنى	المتوسط
ضغط الهواء (كجم / سم^{2})	٤,٩	٢,٥	٣,٥
ضغط المياه (كجم / سم^{2})	٩,٢	٣,٥	٤,٩
طول الخرطوم (متر)	١١٠	١٥	٦٠

ينصح فى أعمال التبطين بالشوتكريت أن لا يكون بالخلطة ركام حرش ويتم الصب فى عدة طبقات تحاشيا لانفصال المواد المخلوطة والمستخدمة حديثا.

وفى حالة تبطين الترع بالشوتكريت (للميول الجانبية للقطاع أو القاع) ينصح ألا يقل سمك الطبقة الواحدة عن ١// وبحد أقصى ٣,٥// وعند عمل تبطين من عدة طبقات فإنه يراعى وجود فترة زمنية تتراوح من ٣٠ - ٦٠ دقيقة بين كل طبقتين متتاليتين حتى لا يحدث إنفصال.

ويراعى ضرورة معالجة تبطين الشوتكريت فور إنتهاء أعمال الفرد والتسوية وذلك برش الأسطح المنتهية بمحلول معالجة الخرسانة.

ويتم فرد وصب خرسانة الشوتكريت على السطح المراد تبطينه بإستخدام المعدات وبالأسلوب الموضح ويتم ذلك بطاقم من ثلاثة من الفنيين المهرة المدربين :

- فنى تشغيل وتوجيه فوهة التصرف.
- فنى تشغيل ماكينة الخلط والتشغيل.
- فنى إزالة المرتد من الشوتكريت.

ويلزم التأكد من مهارة وخبرة هذه المجموعة حيث أن جودة التبطين تتوقف على درجة مهارة هذه العمالة. إذ أن فنى فوهة التدفق يقوم بصب الشوتكريت على المناسيب المقررة وبالسمك المطلوب ويقوم بإضافة المياه بالقدر النمطى المقرر عند الفوهة ويراعى الدقة فى وضع وفرد الشوتكريت بإنتظام لضمان إستبعاد المرتد من القطاع وتقليله مع دقة ضبط الفوهة فى موقعها الصحيح ، كما أن فنى تشغيل الماكينة يعمل على ضبط وإنتظام ضغط الهواء والمياه ومعدل التغذية ليعطى تدفق منتظم وبسرعة مناسبة عند الفوهة.

١-٤-٥ التبطين ببلاطات خرسانية سابقة الصب Precast Concrete Lining

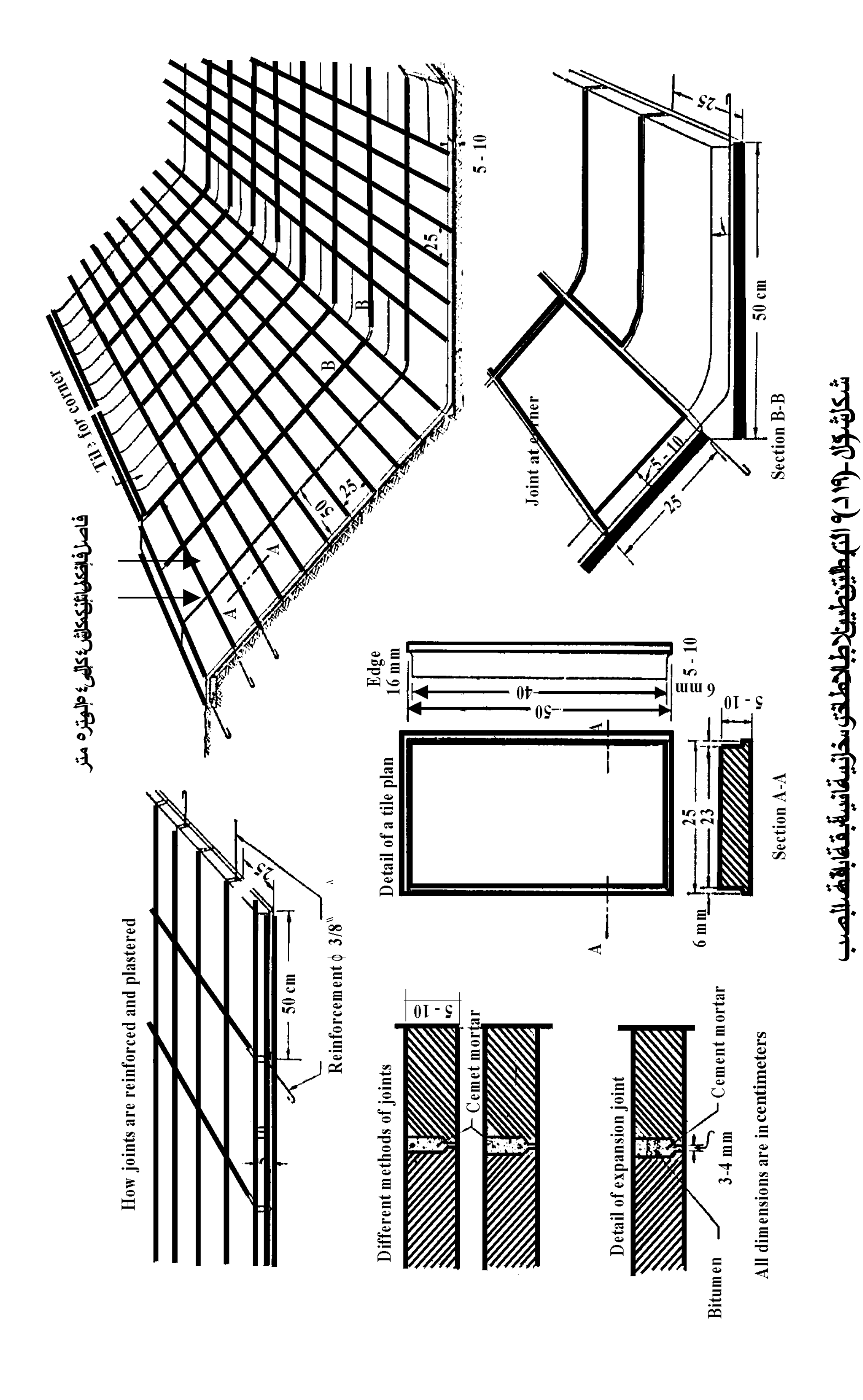
١-٤-٥-١ إستخدامات البلاطات سابقة الصب

تستخدم البلوكات أو البلاطات الخرسانية سابقة الصب فى تبطين الترع ذات القطاعات الصغيرة والثانوية والمراوى. وتتم هذه الإستخدامات فى حدود ضيقة وظروف تتناسب مع إقتصاديات التشغيل حيث يمكن تدبير العدد الكافى من العمالة بأجور مناسبة.

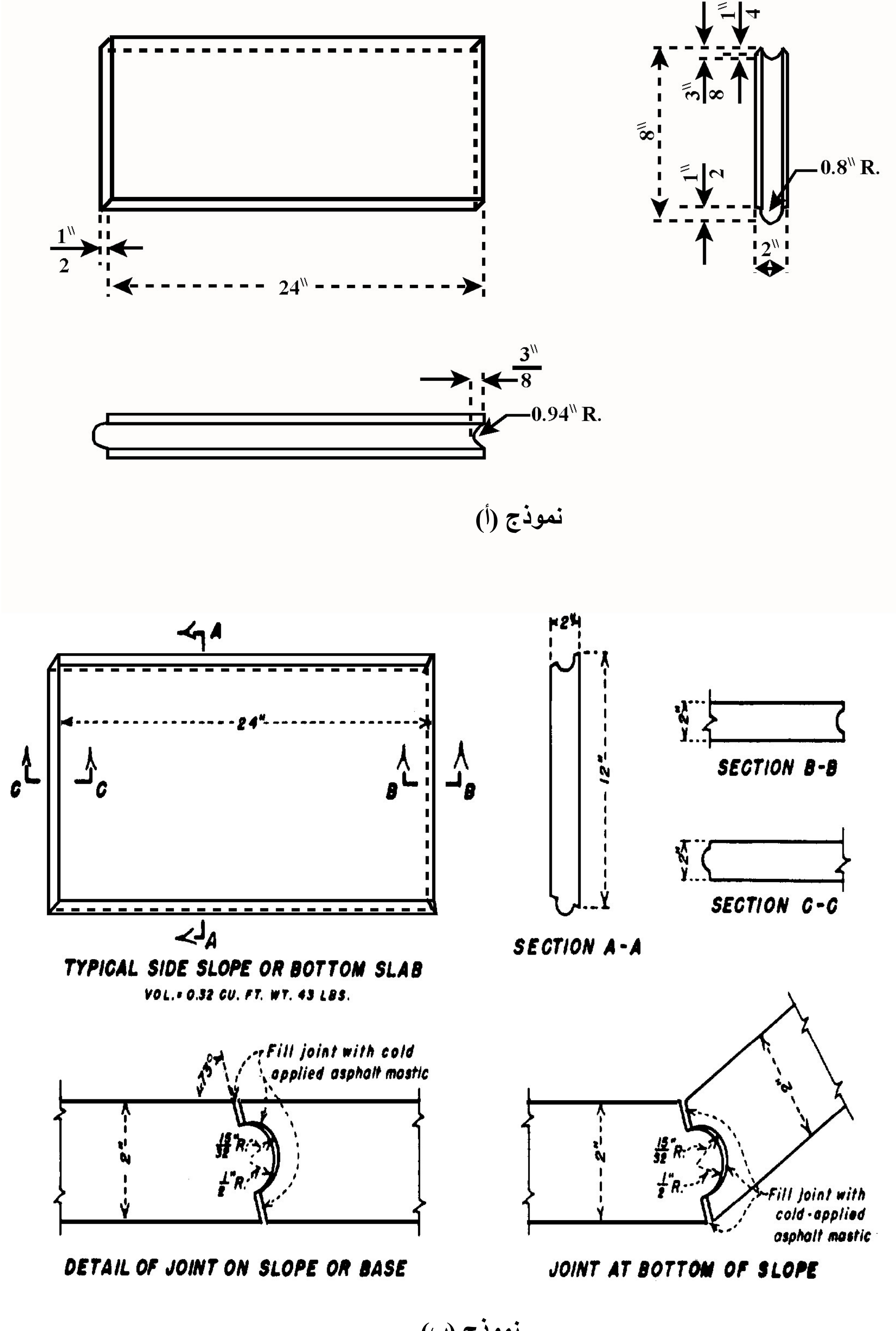
١-٤-٥-٢ أبعاد البلاطات سابقة الصب

أ- فى الترع والفروع ذات القطاعات الصغيرة والتى تحمل تصرفا يتراوح من ٠,٥ - ١,٥ م^{٣} / ث ، تستخدم بلاطات أبعادها ٢٥ x ٥٠ x ٦ سم بنهايات خاصة فى أضلاعها الأربعة تشكل فاصلا مفتوحا يتم الإستفادة بها فى التركيب وبلاطات القاع يعمل لها نهاية عند نقطة إلتقاء الميول الجانبية بالقاع (Toe) على هيئة كتف (Shoulder) لحمل بلاطات الميول عند تركيبها ويوضح الشكل (١-١٩) تفصيلات هذه البلاطات.

ب- فى حالة الترع ذات القطاعات الأكبر من تلك المذكورة بالبند السابق (أ) فإنه يتم إستخدام بلاطات بأبعاد أكبر تتناسب مع أبعاد قطاع الترعة المراد تبطينه بالبلاطات الخرسانية سابقة الصب ، ويمكن إستخدام بلاطات بأبعاد ٦٠ x ٢٠ x ٥ سم أو ٦٠ x ٣٠ x ٥ سم مع عمل اعتبارات لفواصل التركيب واللحامات فى أطراف البلاطات بعمل تجويف ولسان بالتبادل كالموضح فى الشكل (١-٢٠).



شكل (٩-١٩) التبطين بالبلاطات الخرسانية سابقة الصب



شكل (١-٢٠) تصميمات مقترحة لبلاطات خرسانية سابقة الصب

١-٤-٥-٣ تصنيع البلاطات والبلوكات

يتم تصنيع البلاطات الخرسانية سابقة التجهيز حسب الأبعاد التصميمية الموضحة بالبند (١-٤-٥-٢) والتفصيلات بالشكلين (١-١٩) ، (١-٢٠) ويتم التصنيع إما يدويا أو ميكانيكيا.

ففى حالة التصنيع اليدوى يتم عمل فرم أو قوالب حديدية بذات الأبعاد التصميمية للبلاطات المراد تصنيعها ويتم تجهيز الساحات اللازمة للتصنيع والتخزين وذلك بتسوية مساحات بمسطحات مناسبة لكمية البلاطات المراد تصنيعها ومعدلات التصنيع والسحب من المخزون للتركيب مع مراعاة تظليل هذه الساحات بمظلات لحماية البلاطات المصنعة من الشمس.

وتخضع عملية إعداد خلطة الخرسانة للقواعد والأسس الواردة بالبند (١-٤-١-٣) ويتم الخلط بإستخدام خلاطة متحركة ويتم إستخدام عمالة ماهرة لتسوية أسطح البلاطات المصنعة تماما قبل رفع قالب التصنيع عنها ويجب أن تتم هذه العملية بعناية فائقة وحرص حفاظا على أحرف البلاطات المصنعة ضمانا لسلامة الإستخدام والتركيب ، مع مراعاة رش البلاطات المصنعة بالمياه رشا خفيفا لفترة ثلاثة أيام أو رشها بمحلول معالجة الخرسانة بعد تمام التصنيع بفترة نصف ساعة.

ومن المفضل أن يقتصر إستخدام التصنيع اليدوى للبلاطات ذات الأبعاد الصغيرة كالوارد ذكرها بالبند (١-٤-٥-٢) أ.

وفى حالة التصنيع الميكانيكى يتم إستخدام معدات تصنيع أوتوماتيكية مصممه خصيصا لإنتاج البلاطات والبلوكات الخرسانية سابقة التجهيز ومزودة بفرم وقوالب بالمواصفات والأبعاد التصميمية المطلوبة ، ويتم تزويدها بمخلوط الخرسانة بواسطة سيور ناقلة ويتم إعداد موقع التصنيع بنفس المواصفات بالبند السابق كما يتم معالجة البلاطات المصنعة بنفس الأسلوب.

١-٤-٥-٤ طرق التركيب

- تحتاج عملية تركيب البلاطات الخرسانية سابقة التجهيز لعدد كبير من العمالة اليدوية بدءا من تحميل جرارات النقل بالبلاطات المصنعة فى ورشة التصنيع ثم تفريغ الجرارات بمواقع التركيب والإنزال والمناولة لفرق التركيب ثم العمالة اللازمة لتقفيل الفواصل بين البلاطات بالمونة الأسمنتية أو البيتومين المطاطى وهذه المراحل المتعاقبة التى تتم بالعمالة اليدوية تجعل هذا النوع من التبطين بطيئا للغاية فى التنفيذ وبالتالى فإن التكلفة تعتبر عالية نسبيا.
- وعند تركيب البلاطات أبعاد ٢٥ x ٥٠ x ٦ سم المنوه عنها بالبند (١-٤-٥-٢) أ فإن أحرفها التى تشكل فاصلا مفتوحا (تجويفا) كالموضح بالشكل (١-١٩) تؤدى إلى إمكانية وضع أسياخ حديد تسليح بقطر ٤ مم فى هذا التجويف ثم يملأ التجويف بمونة الأسمنت أو البيتومين المطاطى وبهذه الطريقة يمكن الحصول على بلاطة خرسانية بتسليح شبكى على أبعاد ٢٥ x ٥٠ ، ٥٠ x ٥٠، ٥٠ x ١٠٠ سم وفقا لطبيعة التربة والاحتياجات الإنشائية ، وعند التركيب يتم عمل تجويف خاص (فاصل) فى الإتجاه الطولى عند إلتقاء الميل الجانبى للترعة مع خط القاع ، كما يتم عمل فواصل عرضية بعرض ١٧ مم تملأ بالبيتومين المطاطى وذلك كل ٤ متر لحماية التبطين من الشروخ التى تنتج من الحركة بالتمدد الحرارى والهبوط.
- عند تركيب البلاطات بالأبعاد ١٢٠ x ١٨٠ x ٥ سم يكتفى بإستخدامها فى تبطين الميول الجانبية لقطاع الترعة مع تسليحها بأسياخ قطر ١٠ مم فى الضلعين الرئيسيين للبلاطة ، وعلى أن يتم صب

تبطين القاع بخرسانة تصب فى الموقع مع عمل أكتاف لتحميل بلاطات الميول الجانبية عليها مع ملء الفواصل بالبيتومين المطاطى.

- وفى حالة التبطين للميول الجانبية والقاع بالبلاطات المنوه عنها بالبند (١-٤-٥-٢) ب بأبعاد ٦٠ x ٢٠ x ٥ سم أو ٦٠ x ٣٠ x ٥ سم والموضح تفصيلاتها بالشكل (١-٢٠) فإنه يتم تركيبها بنفس الأسلوب بالبند السابق وأيضا بالنسبة لبلاطة تبطين القاع.

١-٥ التبطين الغشائى المكشوف للأسطح Exposed Surface Membrane Lining

يمكن إستخدام رقائق غشاء البلاستيك والمطاط الصناعى والرقائق الأسفلتية سابقة التجهيز أو الأسفلت المرشوش على الساخن وذلك كتبطين مكشوف لمجارى الرى خاصة ذات القطاعات الصغيرة. ولكل من هذه الأنواع من الأغشية الخواص والمواصفات الفنية الخاصة بها وطرق التركيب المناسبة لها. ولعل أبرز عيوب إستخدام هذه الأغشية فى التبطين المكشوف هو تلفها نتيجة التعرض للعوامل البيئية كأشعة الشمس والإشعاعات الحرارية المصاحبة فى المناطق الحارة وأيضا تعرضها للقوارض.

١-٥-١ التبطين بغشاء أسفلتى Asphalt Membrane

ويندرج تحت التبطين بالغشاء الأسفلتى نوعان التبطين بغشاء الأسفلت بالرش والتبطين بغشاء الأسفلت سابق التجهيز.

١-٥-١-١ التبطين بغشاء الأسفلت بالرش

ويستخدم فيه خليط الخرسانة الأسفلتية على الساخن إذ يتم إستخدام خلطة الخرسانة بعد إعدادها وفقا للإشتراطات والمواصفات الواردة بالبند (١-٤-٢-٤) بوضعها بالرش على سطح قطاع الترعة (الميول الجانبية والقاع) من خلال رشاشات ذات ثقوب وفوهات تعمل تحت ضغط ٣,٥ كجم / سم^{٢} .

وتستخدم لذلك الرشاشات اليدوية أو القضبان ذات ثقوب الضخ المتعددة المحمولة على الموزعات.

وتستخدم الرشاشات اليدوية فى ظروف محدودة تنحصر فى العمليات الصغيرة إنما السائد الآن إستخدام قضبان الرش الطويلة التى تمتد بطول الميول الداخلية لقطاع الترعة أو قاعها ، وقضبان الرش تحمل يدويا عند النهايات ولكن من المفضل تحميلها على كابلات شدادة أو ربطها مباشرة بجهاز التوزيع لضمان الإحتفاظ بمسافة ثابتة مع سطح التربة الذى يتم رش الخرسانة الأسفلتية عليه وإستخدام قضبان رشاشات التوزيع بهذه الطريقة يعطى كثافة وسمكاً لطبقة غشاء الخرسانة الأسفلتية وعادة ما يكون سمك الغشاء الأسفلتى نحو ٥,٧ مم وذلك يتم بكثافة رش ٦ لتر / م^{٢} وفى حالات قطاعات الترع الكبيرة يلزم زيادة سمك الغشاء الأسفلتى إلى نحو ٧ مم وذلك يتحقق برفع كثافة رش الأسفلت إلى ٧,٥ لتر / م^{٢} .

١-٥-١-٢ التبطين بغشاء الأسفلت سابق التجهيز

يستخدم غشاء الأسفلت سابق التجهيز فى تبطين الترع ذات القطاعات الصغيرة أو الترع الكبيرة لمسافات محدودة حيث أن إستخدام غشاء الأسفلت الساخن بالرش يحتاج لعمالة على مستوى عال من التدريب ومعدات متخصصة.

تصنيع الغشاء الأسفلتى والسمك القياسى

يتم تصنيع رقائق غشاء الأسفلت سابقة التجهيز بالأبعاد والأسماك المطلوبة والمحددة فى التصميم ، وإن كان من المتبع تصنيع هذه الرقائق وفق أحد هذه المقاسات والأبعاد.

- عرض ٨٥ سم وطول ١٥٠ سم وبسمك ٢,٥ سم.
- عرض ٩٠ - ١٢٠ سم وبطول ٧,٥ متر وسمك ١,٢٥ سم.

ويجب مراعاة أن تتوافق هذه الأبعاد مع أبعاد قطاع الترعة المطلوب تبطينها لتنسيق فواصل التركيب واللحامات بين رقائق الغشاء ، كما يراعى فى تصنيعها وإعدادها أخذ الإحتياطات اللازمة لضمان كتامتها للمياه ومتانتها بأن تكون الخرسانة الأسفلتية كثيفة مدموكة وأيضا تكون الأغشية المصنعة قابلة لنقلها لمسافات طويلة ، ويمكن تخزينها فى درجات حرارة عالية نسبيا.

ويتم تصنيع هذه الرقائق (الأغشية) بتشكيلها من الأسفلت المقذوف بالحفاز Catalically blown على ألواح من ورق الكرافت الثقيلة إلا أنه تلاحظ أن هذه الرقائق المصنعة بهذا الأسلوب تعرضت لبعض المشاكل فى عمليات النقل والمناولة إذ يتعرض الأسفلت فى الجو شديد الحرارة للسيولة مما يؤدى إلى إلتصاق اللفات ببعضها بينما فى الجو شديد البرودة يصبح الأسفلت هشا وقصفا وبالتالى فإن فرد لفات الأغشية بسرعة يعرضها للكسر.

ولتجنب هذه الظروف فقد تم تطوير رقائق الأسفلت سابقة التجهيز بتسليحها بألياف زجاجية وهذا النوع أعطى نتائج طيبة وتعرف هذه الرقائق بالهيبوفورز.

طريقة التركيب والفواصل

يتم تركيب رقائق الأسفلت سابقة التجهيز برصها مع عمل الفواصل بين الرقائق وملء هذه الفواصل بمونة الأسمنت والأسفلت والتى تشكل فواصل تناكبية Butt joints ، وقد لوحظ أن حشو الأسفلت للفواصل التى تعلو منسوب المياه تتعرض للتلف لإستمرارها جافة وصلبة بينما تستمر الفواصل المغمورة تحت سطح المياه بحالة جيدة.

إحتياطات الحماية

من أهم الإحتياطات اللازم أخذها فى الإعتبار لحماية التبطين برقائق الأسفلت سابقة التجهيز ضمان أن تكون التربة الحاملة للتبطين صلبة مستقرة تنطبق عليها الإشـتراطات الخاصة بذلك والمتضمنــة بالبند (١-٤-١-٢) كما يجب التأكد من خلو التربة الحاملة للتبطين من الأعشاب أو إحتمالات نموها مستقبلا ولتحقيق ذلك تنفذ الإشتراطات الواردة بالبند (١-٤-٢-١).

١-٥-٢ التبطين بألواح غشاء بلاستيكية ورقائق المطاط الصناعى

بدأ إستخدام رقائق البلاستيك فى أعمال تبطين مجارى الرى فى أوائل الخمسينات بإستخدام رقائق البولى إيثيلين البلاستيك ثم بعد فترة إستخدمت رقائق كلوريد البولى فينيل (بى فى سى – PVC). وتطورت التجارب فى هذا المجال إلى تجربة إستخدام رقائق الألياف الزجاجية المغطاة (المدهونة) بالبيوتيل Butyl coated fiber glass والتى أعطت نتائج أفضل من رقائق (غشاء) البلاستيك.

وعند إستخدام هذه الرقائق فى تبطين مجارى الرى كغشاء مكشوف يلزم إختيار النوع الذى لا يتأثر بضوء الشمس أو الإشعاع الحرارى ، ولهذا كانت أنسب هذه الرقائق تلك المصنعة من البولى إيثيلين عالى الكثافة HDPE .

١-٥-٢-١ مواصفات غشاء البلاستيك والسمك

يلزم أن تتطابق خصائص ومواصفات رقائق البولى إيثيلين والبلاستيك المستخدم فى تبطين مجارى الرى بصورة مكشوفة غير مغطاة أو مدفونة مع عناصر المواصفات التى تضمن على وجه الخصوص قدرتها على عدم التأثر بضوء الشمس أو الإشعاع الحرارى ، وأن يكون سمكها كافيا لمقاومة الصدمات وأن

يكون مناسبا لمقاومة التشقق والتمزق والإختراق ولهذا يفضل إستخدام البولى إيثيلين عالى الكثافة HDPE .

ومن الضرورى إجراء الإختبارات المعملية اللازمة للتحقق من مطابقة رقائق البلاستيك لعناصر المواصفات الأمريكية القياسية ASTM أو ما يوازيها قبل إعتماد إستخدامها خاصة مقاومة التمزق والإختراق وقوة الشد عند الكسر وعند الخضوع كما هو موضح فى الجدول (١-٦).

جدول (١-٦) مواصفات رقائق (أغشية) البولى إيثيلين

الخاصية		القيمة الأسمية
السمك	مم	١ - ٢
الكثافة	جم / سم٣	٠,٩٤
مواصفات الشد فى الإتجاهين		
قوة الشد عند الكسر	نيوتن	٢٨ - ٤١
قوة الشد عند الخضوع	نيوتن / مم	١٧ - ٢٦
الإستطالة عند الكسر	%	٧٠٠ %
مقاومة التمزق	نيوتن	١٣٣ - ٢٠٠
مقاومة الإختراق	نيوتن	٢٣١ - ٣٥٦
نسبة الكربون الأسود	%	٢ - ٣ %
نسبة ثبات الأبعاد فى كل إتجاه	%	± ٢ %
مقاومة إجهادات الشروخ فى البيئة	%	≤ ٥٠٠
أقل درجة حرارة تؤدى للقصف	°م	- ٧٧
تأثير الأكسدة مع الوقت	دقيقة	١٠٠
مقاومة الأوزون		لا شروخ
نسبة إمتصاص الماء	% من الوزن	≤ ٠,١
كمية التطاير بالبخر	جم / م٢ / اليوم	≤ ٠,١
درجة السيولة	جم / ١٠ دقائق	≤ - ١

١-٥-٢-٢ طريقة التركيب والتثبيت

تورد رقائق البلاستيك فى لفات (رولات) بعرض يتراوح من ١,٥ متر حتى ٤ متر وبأطوال تتراوح ما بين ٤٠ - ٦٠ متر ، وللتركيب يتم فرد رول رقائق البلاستيك على قطاع المجرى المائى على الميول الجانبية والقاع مع مراعاة وجود ركوب بين رقائق اللفات ما بين ١٠ - ١٥ سم مع لصق الرقائق فى

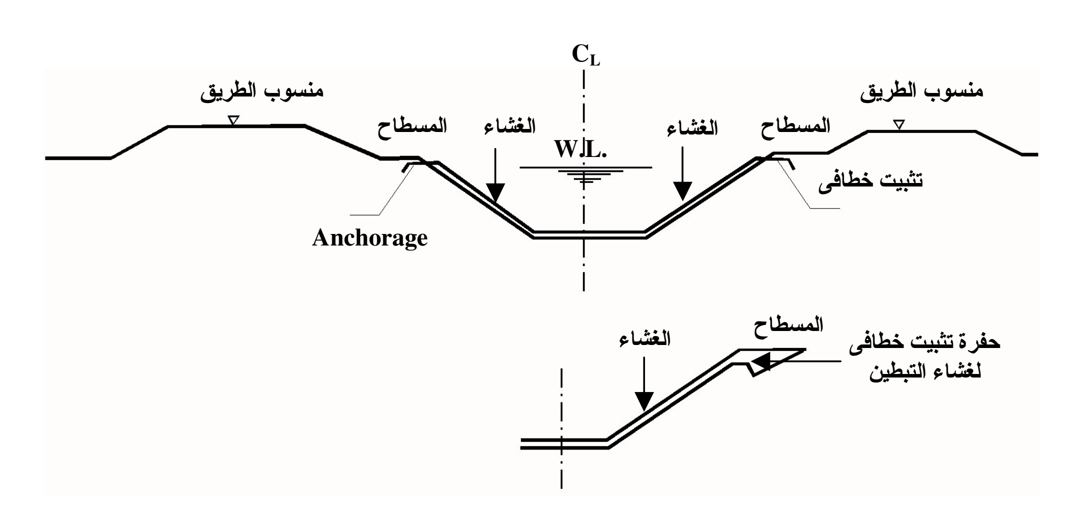
مسافة الركوب بمادة لاصقة مناسبة لضمان إستمرارية تغطية الغشاء لقطاع المجرى وضمان كتامة الغشاء للمياه بكامل سطحه المبطن لقطاع المجرى.

ولضمان ثبات رقائق البلاستيك عند فرده على سطح قطاع المجرى المائى فيلزم تثبيته من أعلا عند بداية الميل الجانبى للترعة بعد ركوب خطافى Anchorage وتثبيته فى التربة الحاملة لنسيج التبطين كالموضح بالشكل (١-٢١).

١-٥-٢-٣ عيوب إستخدام البلاستيك فى التبطين المكشوف

بالرغم من أن رقائق البلاستيك من العناصر الناجحة فى معالجة التسرب فى الترع والمساقى وتعمل على رفع كفاءة التبطين إلا أن التقارير الميدانية فى دراسة وتسجيل مدى كفاءة إستخدام هذه الرقائق فى التبطين المكشوف قد سجلت أن لهذا النوع من التبطين بعض العيوب التى تؤثر فى فاعليته وبالتالى تعمل على التقليل من فترة صلاحيته وتتلخص هذه العيوب فى الآتى :

- سهولة تعرض اللفات للعوامل البيئية التى تفسدها كتعرضها لضوء الشمس أو الإشعاعات الحرارية مما يؤثر على خواص النسيج ويضعف مقاومته.
- سهولة تعرض الرقائق للقوارض أو التعامل معها بسلاح مما يترتب عليه تلفها وبالتالى تفقد فاعليتها فى معالجة التسرب.
- صعوبة وتعذر تشغيل آلات ومعدات تطهير الترع فى وجود تبطين المجرى بهذه الرقائق المكشوفة.



شكل (١-٢١) تثبيت غشاء التبطين البلاستيك

١-٦ التبطين بألواح غشائية مدفونة Buried Membrane Lining

التبطين بألواح غشائية مدفونة (مغطاة) يتكون من عنصرين أولهما ألواح رقيقة كتيمة حاجزة للمياه تغطى بطبقة من مادة حامية لها يشكلان فى النهاية أبعاد القطاع المائى للترعة.

الألواح الغشائية المستخدمة فى التبطين هى :

- الغشاء الأسفلتى المرشوش.
- ألواح الغشاء الأسفلتى سابقة التجهيز.
- الطبقات الرقيقة من البينتونيت.
- غشاء البلاستيك والمطاط الصناعى.

وتفرد هذه الأغشية على ميول وقاع الترعة لمقاومة تسرب المياه من المجرى المائى ويتم تغطيتها لحمايتها من العوامل البيئية التى تعمل على تلفها ، وأيضا حمايتها من أضرار تيارات المياه الدوامية والحماية من إحتمالات نمو جذور الأعشاب الضارة أو تأثير معدات وآلات تطهير المجرى المائى. وقد برزت الحاجة لمواد التغطية الواقية منذ بداية إستخدام هذه الألواح الغشائية حيث وضحت عدم قدرتها على مقاومة مخاطر البيئة والإستخدامات. وغالبا تستخدم الأتربة والركام (الزلط) كمادة تغطية (وقاية) للألواح الغشائية المدفونة المستخدمة فى التبطين.

١-٦-١ إعتبارات التصميم

تؤخذ فى الإعتبار عناصر هامة مؤثرة فى تصميم التبطين بألواح غشائية مدفونة وذلك بالنسبة لتصميم قطاع الترعة وحساب سرعة التيار وقوة الجر الناتجة المؤثرة على نحر مواد التغطية ومواصفات وأسس إستخدام مواد التغطية والإحتياطات الأخرى التى تؤخذ فى الإعتبار لضمان سلامة التبطين بهذا الأسلوب ونجاحه.

١-٦-١-١ قطاع الترعة

الألواح الغشائية المدفونة المستخدمة فى تبطين الترع والمجارى المائية يجب أن تكون كتيمة تماما للمياه ويلزم فردها على كامل قطاع الترعة (الميول والقاع) بعناية تامة ويتوقف عمرها الإفتراضى بالدرجة الأولى على نوعية مواد التغطية وكفاءتها وقدرتها على حماية رقائق الغشاء من التأثيرات الجوية ونحر المياه والتلف بالعوامل البيئية الأخرى.

وحيث أن الأتربة تمثل أقل مواد التغطية تكلفة فإن ذلك يعزز إستخدامها فى إنشاء طبقة التغطية. ولتحقيق الحماية اللازمة لضمان سلامة غشاء التبطين يلزم مراعاة أن يكون قطاع المجرى المكون من الغشاء وطبقة التغطية متوازنا لضمان عدم حدوث نحر أو إنزلاق فيه. وللوصول لهذا القطاع المتوازن يلزم ضمان أن تكون جسور الترعة مستقرة ويلزم تنفيذ ذلك حتى فى حالة عمل طبقة التغطية من تربة غير مضغوطة ، الأمر الذى يساعد على تشبعها بالمياه المنطلقة بالترعة ويحملها غشاء التبطين الذى يخلق سطحا ضعيفا فى تحمل قوة القص وفى ذات الوقت تربة أساس قد تكون مبتلة أو جافة.

وبالنسبة للميول الجانبية لقطاع المجرى فليس هناك ميل يتناسب مع كل أنواع تربة الأساس وطبقة التغطية إلا أنه وجد أن الميول ١/٢ تكون مناسبة لأغلب الحالات وهذا أقصى ميل مطلوب ومناسب لغشاء الأسفلت أو البلاستيك وقد يكون من المناسب إستخدام ميل أكثر إنبساطا من ذلك لنفس هذه الأنواع من الأغشية إذا ما كانت طبقة التغطية من تربة غير مستقرة كالرمال سيئة التدرج والركام الرفيع.

وبالإضافة إلى الإستقرار الإستاتيكى المطلوب فإن قطاع المجرى المائى يلزم أن يكون قادرا على مقاومة نحر المياه المنطلقة ويلزم الرجوع إلى معادلات تصميم قطاعات الترع والعناصر المؤثرة فى ذلك الواردة فى البند (١-٢) وأجزائه.

١-٦-١-٢ السرعات وقوة الجر المؤثرة على نحر مواد التغطية

السرعات المسموح بها فى الترع غير المبطنة (الترابية) أو تلك المبطنة بمواد سهلة التآكل تتحدد على أساس مقاومة النحر للتربة أو مواد تبطين الترعة. ويمكن حساب إجهادات القص على قاع الترعة الناتجة من حركة المياه فى حالة ترعة لا نهائية الإتساع من المعادلة

$$\tau_0 = \gamma \, d \, S \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1-20)$$

حيث

τ_0 = إجهادات القص على قاع الترعة — كجم / متر مربع

γ = الوزن النوعى للمياه — كجم / متر مكعب

d = عمق المياه بالترعة — متر

S = الإنحدار الطولى (ميل) الترعة

وفى حالة قطاعات الترع بشكل شبه منحرف فإن إجهادات القص (قوة الجر لوحدة المساحات من سطح الترعة) على جوانب الترعة تختلف عنها على القاع وتعطى المعادلة (١-٢٠) إجهاد القص المتوسط على المحيط المغمور للقطاع بإستبدال عمق المياه (d) بنصف القطر الهيدروليكى للقطاع (R) .

ولا شك أن حبيبات التربة على الميول الجانبية للترعة تميل إلى الإنزلاق لأسفل وأن التأثير المشترك لهذه الظاهرة مع قوى الجر (المنوه عنها سابقا) والتى تعمل على حبيبات القاع والميول الجانبية تجعل قابلية النحر للميول الجانبية تزيد عن قابلية مواد القاع.

وقد أجريت التجارب ورصدت المعلومات لتحديد قوة الجر اللازمة لبدء تحريك الأحجام المختلفة من التربة الرملية أو الركامية غير المتماسكة وهذه القوى تعرف بقوى الجر الحرجة Critical tractive force ولقد أجريت الدراسات والتجارب لتحديد قوى الجر الحرجة لأنواع التربة المختلفة منتظمة الحبيبات غير المتماسكة Non cohesive وأيضا من مواد متماسكة Cohesive أو خليط منهما وذلك لأخذها فى الإعتبار عند التصميم.

١-٦-٢ مواصفات مواد التغطية

تعتبر مرحلة تنفيذ طبقة التغطية بعمليات تبطين الترع بأغشية مدفونة (مغطاة) بدءا من الحفر والنقل حتى وضع الطبقة فوق غشاء التبطين هى أكثر المراحل تكلفة. ولهذا فمن المفضل أن تكون المواد (التربة) المستخدمة قريبة ما أمكن من موقع المشروع ويراعى فردها ووضعها فوق غشاء التبطين بطبقة ذات سمك كاف لحماية الغشاء.

ويؤخذ أقل سمك آمن لطبقة الحماية مساويا ١ / ١٢ عمق المياه بالترعة بالبوصة مضافا إليه ١٠″ وهذا السمك المشار إليه يستخدم فقط فى حالة أن تكون طبقة التغطية من تربة متوازنة لمقاومة النحر. وفى حالة أن تكون المواد (التربة) المحلية بالموقع ناعمة التدرج وغير متماسكة سيكون من الضرورى إستخدام سمك أكبر لطبقة التغطية كما يلزم إضافة حماية زلطية ويلزم عمل تحليل إقتصادى لإستخدام الغطاء الزلطى (الركامى) مع قطاع صغير مقارنا بقطاع أكبر بإستخدام التغطية من مادة أقل تماسكا.
وسمك طبقة التغطية الموضح يتوقف على ثبات الميول الجانبية لقطاع الترعة. وأيضا على نوعية معدات التطهير المناسبة للإستخدام ودرجة إنكسار الموجات المتوقعة على سطح الميول الجانبية وأيضا النحر خاصة عند المنحنيات ومواقع منشآت الأعمال الصناعية.

ويؤخذ فى الإعتبار أن الإنخفاض السريع فى منسوب المياه بالترع المبطنة بالغشاء يعمل على إنزلاق طبقة التغطية إلى أسفل الميل ولهذا يفضل تجنب التذبذب (التغير) السريع فى مناسيب الترعة ، وإذا كان هذا غير متاح عمليا لظروف وأسباب فنية فى إدارة وتشغيل المجرى المائى ، فإنه فى هذه الحالة ينصح بإختيار ميل منبسط لقطاع المجرى وأيضا إتباع الدقة فى إختيار مواد تربة التغطية وإستبعاد التربة ذات الذرات الدقيقة التى يسهل إنزلاقها مع حركة المياه بالترعة.

وفى الترع الكبيرة فإن الأمواج الناتجة من تأثير حركة الرياح تتسبب فى نحر المواد الترابية لقطاع الترعة عند خط المياه ، وبينما هذه الظاهرة ليست ذات تأثير كبير فى الترع غير المبطنة إلا أنها قد تتسبب فى إنهيار تربة مادة التغطية فى حالة الترع المبطنة بالغشاء.

ويتم أحيانا عمل منطقة شاطئية Beach على هيئة مسطاح للترعة من تربة زلطية لزيادة الأمان عند نقط التغطية الحرجة ، وتكون الترعة عرضة لنزول الحيوانات بها وإفساد وإزالة طبقة التغطية بها ما لم يتم عمل أسوار كافية لمنعها حيث ستخترق حوافرها طبقة التغطية اللينة نتيجة التشبع بالمياه سواء تلك على الميول أو القاع.

وعند إستخدام تكسيات بكسر الأحجار الريبراب Riprap عند مواقع الأعمال الصناعية فإنه يلزم زيادة سمك طبقة التغطية لزيادة حماية الغشاء وهذا السمك الزائد يجب أن يمتد لمسافة خلف العمل الصناعى تساوى على الأقل ضعف مسافة إستخدام الريبراب للسماح بوضع ريبراب فى حالة حدوث نحر D.S جديد.

ويوضح الشكل (١-٢٢) تفاصيل تركيب غشاء التبطين المدفون.

١-٦-٣ التبطين بغشاء أسفلتى مدفون

١-٦-٣-١ المواصفات والسمك

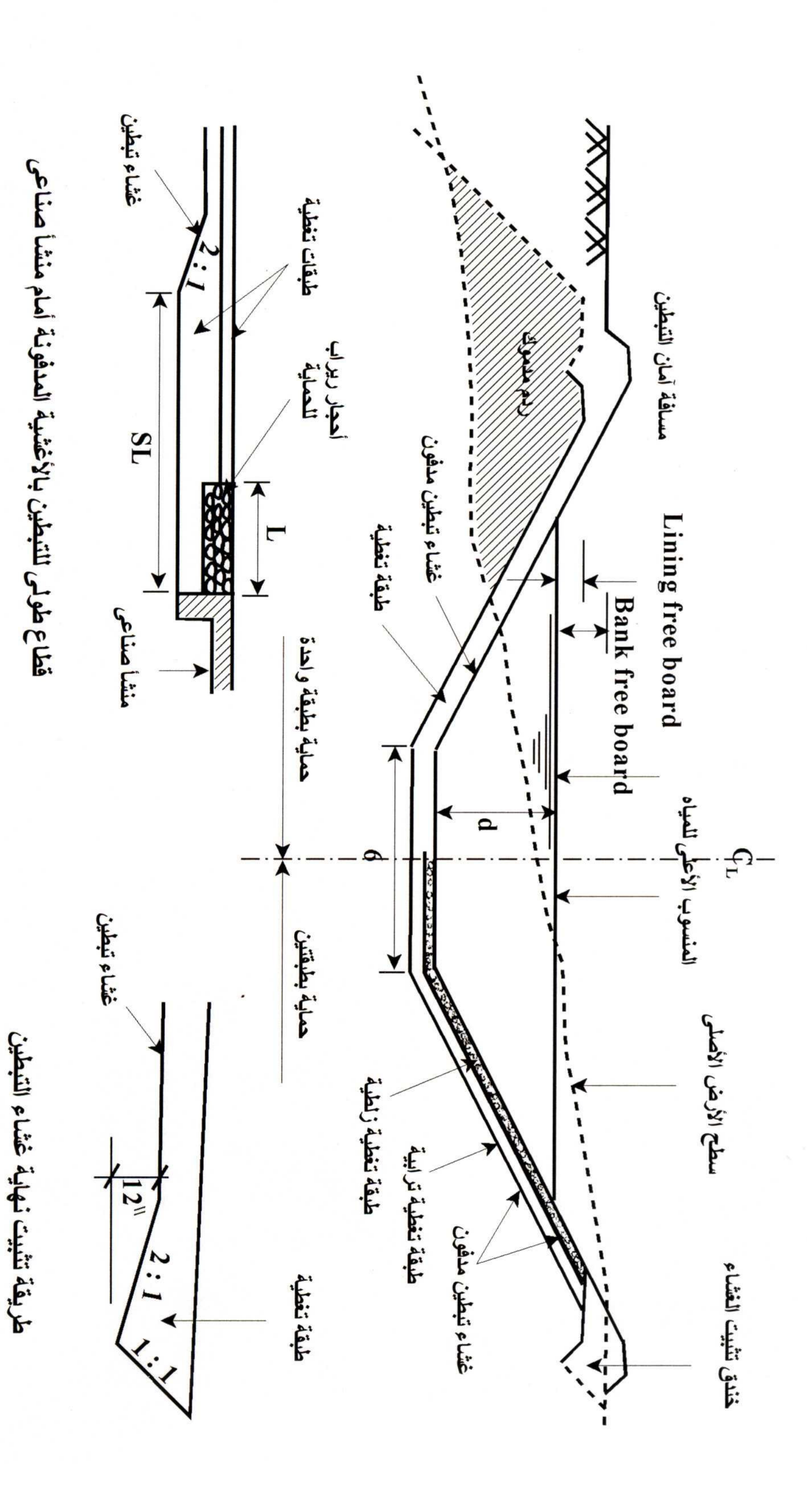
يتكون هذا النوع من التبطين من غشاء أسفلتى بسمك ٥ مم مكون من أسفلت ذى درجة ليونة عالية ويراعى مطابقته للمواصفات الواردة بالبند (١-٤-٢-٤) ويرش الأسفلت بالموقع وهو عند درجة حرارة عالية (٢٠٥° م) ويتم الرش على سطح تربة القطاع المجهزة لذلك لتكوين طبقة كتيمة مانعة لتسرب المياه. ويتم حماية غشاء الأسفلت بطبقة حماية من التربة والركام وأحيانا يتم عمل طبقة الحماية من الخرسانة المقذوفة (الشوتكريت) أو مكدام الأسفلت.

ويرجع فى المواصفات الخاصة بسمك الغشاء وكثافة رش الأسفلت / م^{٢} (لإعطاء السمك المطلوب) وضغط التشغيل المناسب للرشاشات (لإعطاء كثافة منتظمة) إلى ما ورد بالبند (١-٥-١-١).

ويلزم مراعاة ضرورة أن تخضع مادة الأسفلت للإختبارات المعملية التى تضمن تطابق مواصفاتها مع المواصفات القياسية وينص فى بعض العمليات على خضوع الأسفلت المنطلق من الرشاشات عند الإستخدام الفعلى لنفس الإختبارات.

١-٦-٣-٢ تجهيز التربة الحاملة للتبطين

يلزم حفر قطاع الترعة على المناسيب المطلوبة التى تحقق أبعاد القطاع المائى التصميمى للترعة مع مراعاة إضافة مقابل سمك طبقة التغطية قبل وضع غشاء التبطين وفى حالة إنبساط الميول الجانبية أو الحفر أكثر من المقرر فإنه يلزم تصحيح ذلك بإضافة رمل مثبت بالأسمنت بواقع ١٠٠ كيلوجرام أسمنت للمتر المكعب رمل حتى الوصول إلى المناسيب المقررة والمطلوبة ويلزم أن يكون سطح تربة القطاع Subgrade مستويا جاهزا لإستقبال عمليات التبطين بالغشاء ، وأن تكون التربة ثابتة مستقرة تنطبق عليها الشروط والمواصفات الواردة بالبند (١-٤-٢-١) ويلزم أيضا إتخاذ خطوات وإحتياطات ضمان منع نمو الأعشاب.



شكل (١-٢٢) تفاصيل تركيب غشاء التبطين المدفون

١-٦-٣-٣ طرق التنفيذ والمعدات

يتم رش غشاء الأسفلت طبقا للمواصفات بالبند (١-٥-١-١) وذلك وفقا لطرق الأداء والمعدات المنصوص عليها ويلزم التأكد من ضغط تشغيل الرشاشات المقرر لضمان الرش بالكثافة النمطية المقررة وهو ٣,٥ كجم / سم^{٢} سواء عند إستخدام الجهاز ذى الثقوب والفوهات التى تعمل تحت هذا الضغط Slot spray nozzle أو إستخدام الرشاشات اليدوية أو القضبان ذات ثقوب الضخ المتعددة Multiple spray bars المحمولة على الموزعات.

١-٦-٣-٤ وضع طبقة الغطاء

يصل الأسفلت الساخن المرشوش لحالة البرودة خلال فترة زمنية قصيرة ويكون جاهزا لإستقبال مادة طبقة التغطية ، وخلال فترة وجيزة فإن السطح يسمح بسير وحركة عمالة فرد مادة التغطية ومع إمكانية إستخدام مواد أخرى متعددة فى عملية التغطية فإن إستخدام الأتربة أو خليط من الأتربة والزلط هو الأكثر شيوعا لأسباب إقتصادية ، ويلزم إخضاع الأتربة والزلط المستخدمة فى مادة غطاء الغشاء لتجارب تحديد تطابقها لإشتراطات وإحتياجات التصميم للتدرج والنوع والسمك.

وقد يتعرض غشاء التبطين الأسفلتى للتلف الذى ينتج عنه إرتشاح ونفاذ المياه نتيجة الطريقة غير المناسبة التى قد تتبع فى التنفيذ أو إختيار مواد التغطية ، حيث أن الإهمال أو عدم الحرص عند وضع وفرد مواد التغطية التى بها أحجار كبيرة الأقطار نوعا ومسننة الأطراف يتسبب فى خرق وتمزيق الغشاء الأسفلتى.

١-٦-٤ التبطين بغشاء أسفلتى سابق التجهيز (مدفون)

١-٦-٤-١ الإستخدام والسمك

يستخدم غشاء بلاطات الأسفلت سابقة التجهيز لتبطين الترع ذات القطاعات الصغيرة أو الترع الكبيرة لمسافات محدودة حيث أن إستخدام الأسفلت الساخن بالرش يحتاج لعمالة على مستوى فنى عال وأيضا معدات متخصصة.

ومن المتبع عمل هذا الغشاء سابق التجهيز بسمك يتراوح ما بين ٣ - ٦ ملليمترات (٠,١٢٥// - ٠,٢٥//) وفقا لإحتياجات التصميم ليكون فى حيز النقل والمناولة والفرد بذات طريقة لفائف عزل أسقف المبانى مع إعتبار ركوب مناسب بين اللفائف ومعالجة فواصل التركيب بمونة الأسمنت.

وفى تطوير لغشاء الأسفلت سابق التجهيز المستخدم فى التبطين فقد إستخدمت الحصائر الرقيقة المسلحة بالألياف الزجاجية بعد دهانها بالأسفلت المقذوف ، وقد أعطى التبطين بهذا النوع مزايا عديدة منها المتانة وسهولة النقل والمناولة وإن كان مرتفع التكاليف عن النوع المعتاد.

١-٦-٤-٢ تجهيز التربة الحاملة للتبطين وإختيار ووضع طبقة الغطاء

تخضع مواصفات وطرق تجهيز التربة الحاملة للتبطين بالغشاء الأسفلتى سابق التجهيز لنفس المواصفات وطرق الأداء المنصوص عنها بالبند (١-٦-٣-٢) فى تجهيز التربة الحاملة للتبطين بالغشاء الأسفلتى المرشوش وأيضا بالنسبة لإختيار ووضع طبقة التغطية فإنه يتبع فيها ما ورد بالبند (١-٦-٣-٤).

وقد أجريت تجارب متعددة لإستخدام مواد تغطية أخرى بخلاف التربة والزلط رؤى أنها مناسبة فنيا وإن كانت أعلى منها تكلفة وهى :
- التغطية بطبقة من الخرسانة المقذوفة (الشوتكريت).
- التغطية بطبقة من مكدام الأسفلت.

ويراعى عند تنفيذهما الإعتبارات الآتية :

أ- يتم عمل طبقة التغطية من خرسانة الشوتكريت بسمك ٢٠ مم ومن المفضل رش غشاء الأسفلت سواء الذى تم بالرش أو سابق التجهيز بطبقة لصق من MC-O مباشرة قبل إستخدام المادتين. ويراعى عند تنفيذ طبقة التغطية من الخرسانة المقذوفة أن تتطابق المواصفات من حيث مكونات الخلطة ومواصفات المواد المكونة وطرق الصب ومعدات الخلط والصب مع ما ورد بهذا الخصوص بالبند (١-٤-٤).

ب- يتم عمل طبقة الحماية لغشاء الأسفلت أيضا من مكدام الأسفلت وله ذات المزايا لطبقة التغطية بالخرسانة المقذوفة حيث أن كلاهما يعمل على تقليل سمك طبقة التغطية عما فى حالة عملها من الأتربة والزلط كما يقلل الحاجة إلى الحفر الزائد ويتم التنفيذ وفق المواصفات الواردة بالبند (١-٤-٣-١) الخاص بخلطة التبطين بمكدام الأسفلت والبند (١-٤-٣-٣) الخاص بطرق التنفيذ.

١-٦-٥ التبطين بغشاء البنتونيت

١-٦-٥-١ المواصفات والخواص الطبيعية

يعرف البنتونيت بأنه من أنواع التربة التى تتكون من نسبة كبيرة من الطين الذى يغلب فى تكوينه الصوديوم المونتيموريللونيت والتى تتميز بقابليتها لإمتصاص المياه بنسبة عالية مصحوبة بالإنتفاخ كما تتميز بأنها كتيمة للمياه (لا تسمح بتسرب المياه) وغير سهلة الإنزلاق ولها فائدة عالية فى التحكم فى عملية تسرب المياه فى حالة إستخدامها فى تبطين الترع.

وتتفاوت خواص البنتونيت تفاوتا كبيرا حسب مصدره ومكونات طين المونتموريللونيت فيه. ولإعتبارات هندسية وإستخدامات إنشائية فقد تم تقسيم البنتونيت إلى قسمين رئيسين على أساس خاصية الإنتفاخ :
- بنتونيت "وايومنج" عالى الإنتفاخ المكون من طين مونتموريللونيت (صوديومى) ذو القدرة الكبيرة على إمتصاص المياه.
- بنتونيت من تربة طينية مونتموريللونيت (كالسيومى) ذات قابلية أقل للإنتفاخ وإمتصاص المياه.

وفى حالة إستخدام طين البنتونيت ذى درجة الإنتفاخ الأقل فى أعمال تبطين الترع فإنه يلزم إستخدام كميات أكبر من تلك المستخدمة من النوع الأول (بنتونيت وايومنج).

والبنتونيت ذو الحبيبات الناعمة هو الأكثر مناسبة لعمل غشاء التبطين للترع ويمكن إستخدام البنتونيت ذى الحبيبات الخشنة أو تلك المكونة من الرسوبيات إذا كان تدرج حبيباته مناسباً بالإضافة إلى أن كميات أكبر ستكون مطلوبة من المادة فى التنفيذ للوصول إلى نتائج مشابهة ومساوية لتلك الناتجة من إستخدام المادة ذات الحبيبات الناعمة.

ويلزم إتخاذ الحذر الكامل للتأكد من عدم تكون أى غشاء هلامى Gel- like membrane فى حالة وجود رطوبة حيث أنه سوف لا يلتحم مع التربة الخشنة.

١-٦-٥-٢ سمك غشاء البنتونيت وطبقة التغطية

من المتبع عمل غشاء البينتونيت بفرد المادة على كامل تربة القطاع المائى (الميول الجانبية والقاع) وذلك بسمك يتراوح ما بين (٢٥ - ٥٠) مم. ويتأثر تقدير سمك الغشاء بدرجة الرطوبة حيث تعتبر نسبة ٢٠ % نسبة نمطية ويوصى بزيادة سمك الغشاء مع زيادة نسبة الرطوبة عن ٢٠ %.

ويعتبر السمك المناسب لطبقة التغطية فوق غشاء البينتونيت ٣٠ سم على أن يتم تنفيذها من التربة والزلط مع مراعاة المواصفات والإشتراطات الواردة بالبند (١-٦-٢) والبند (١-٦-٣-٤).

١-٧ التبطين الترابى للترع Earth Lining

١-٧-١ أنواع تربة التبطين

يدخل ضمن أنواع التبطين الترابى للترع التبطين بالأتربة المدموكة Compacted earth أو الأتربة الطينية أو الأتربة السائبة Loose وتستخدم التربة الطينية أو خليط من التربة الطينية والبنتونيت ويتم تثبيت التربة التى تستخدم فى عمليات تبطين الترع بالإضافات التى تعمل على تحسين خواص التربة وهذه الإضافات قد تكون كيميائية أو يتم خلط التربة بالأسمنت.

- التبطين الترابى المدموك يكون بسمك يتراوح عادة ما بين ٠,٩ - ٢,٤ متر فى الإتجاه الأفقى على الميول الجانبية لقطاع الترعة بينما يتراوح ما بين ٠,٣ - ٠,٦ متر فى القاع. أما التبطين الأقل سمكا فيكون بسمك ما بين ٠,١٥ - ٠,٣٠ متر من تربة مضغوطة متماسكة Compacted cohesive soil على الميول والقاع والذى يفضل حمايته بطبقة من تربة زلطية أو ركامية بسمك من ٠,١٥ حتى ٠,٣ متر.
- التبطين بتربة غير سائبة يتكون من طبقات من تربة منتقاة ناعمة التدرج توضع على الميول والقاع حتى سمك ٠,٣ متر.
- يمكن عمل التبطين من خليط التربة الطينية وتربة ركامية (زلطية) أو رملية. وقد أتبع إستخدام البنتونيت فى أعمال التبطين فى طبقات رقيقة تتغير وفقا لموقع المشروع والمواد المتوفرة وعلى وجه العموم فإنه يحظر إستخدام التربة الطينية القابلة للإنتفاخExpansive clay فى أعمال تبطين الترع.
- وأحيانا يتم إستخدام الراتنج Resins والمحاليل الكيميائية للأسفلت ، البتروكيماويات والأسمنت والجير فى عملية تثبيت التربة المستخدمة فى التبطين. وقد أثبتت هذه المواد نجاحا فى هذا إلا أنها ما زالت تحت التجربة وتستخدم بمعدلات محدودة. ولقد أثبت التبطين الترابى للترع إقتصادا فى تقليل التسرب وثبات قطاع الترعة خاصة إذا كانت التربة المستخدمة متوفرة من ناتج الترعة أو من أماكن قريبة.
- والتبطين الترابى المضغوط السميك يعتبر أقل أنواع التبطين الدائم تكلفة خاصة إذا كانت المواد المطلوبة والمناسبة متيسرة على مقربة من موقع المشروع ، وأيضا فإنها تكون قادرة على مقاومة الضاغط الهيدرو ستاتيكى المتوقع الدافع إلى أعلى (Uplift) دون أن يفقد التبطين فاعليته ، ولهذا قد لا نضطر لإنشاء مصارف مدفونة كالموضحة بالبند (١-٤-١-٨) لحماية التبطين من الضغط الإستاتيكى للمياه. ويجب عدم التغاضى عن عمل طبقة حماية للتبطين الترابى من الزلط أو الريبراب لحماية التبطين ضد النحر علما بأن التبطين المنشأ من تربة سلتيه ورملية مع قليل من الزلط يكون سريع التأثر وعرضة للنحر ، وفى حالة إتباع ذلك فإن قيمة تكلفة تخفيض سرعة المياه من خلال إستخدام قطاع أكبر للترعة لتجنب آثار النحر يجب أن يؤخذ فى مرحلة التقييم عند دراسة وتحديد إعتبارات تصميم الترعة.

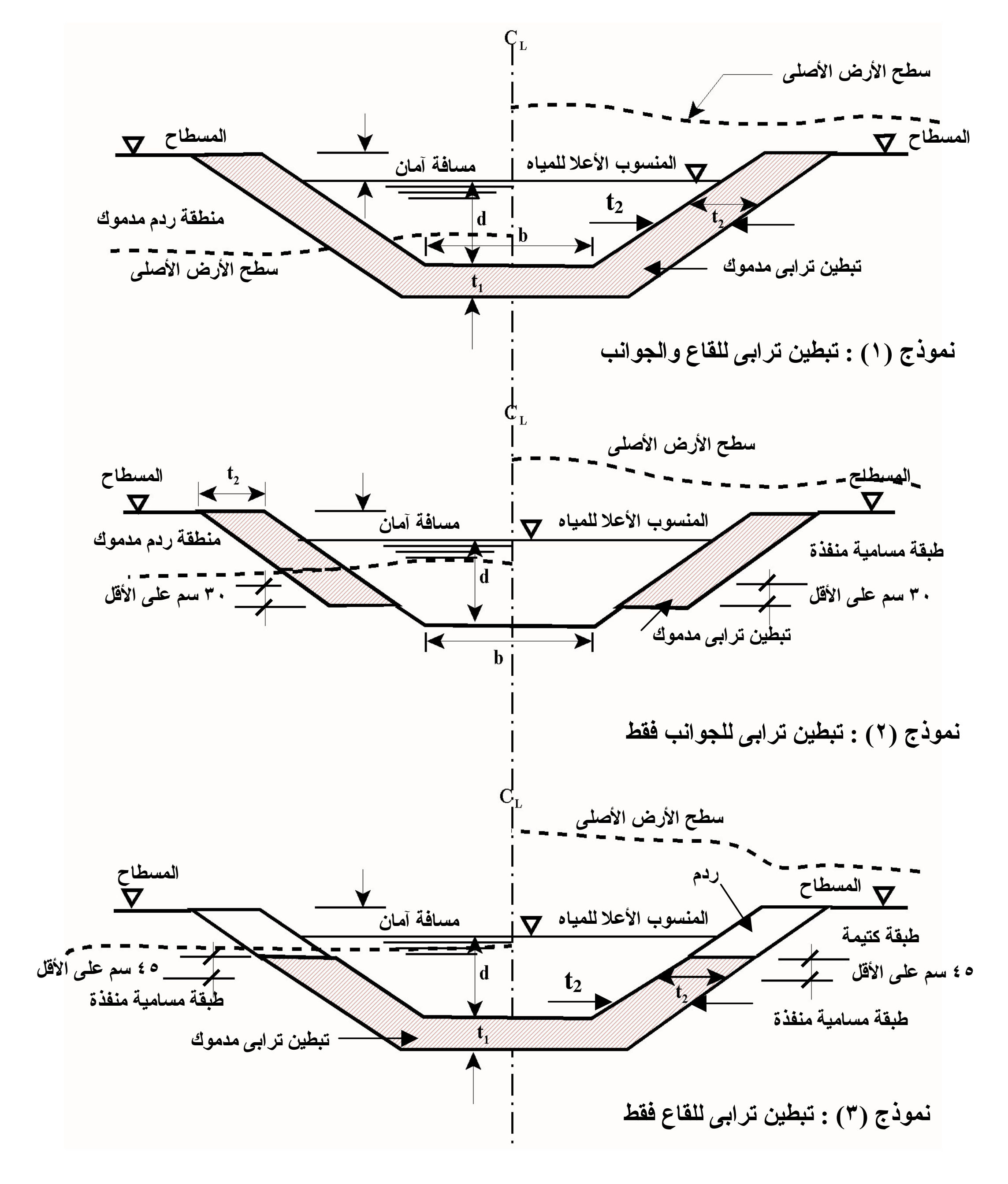
- وفى حالة إستخدام تربة عالية اللدونة فى أعمال التبطين فإنه ينصح بإنبساط الميول الجانبية إلى ١/٢ أو أكثر لإنخفاض الثبات عندما تصل التربة إلى حالة التشبع. وأيضا إذا كانت هذه التربة العالية اللدونة ذات قابلية للإنتفاخ فإنه من السهل أن يتآكل سطحها وبالتالى فإن التبطين بهذه التربة يكون معرضا للفقد ما لم تكن مقواة ومحمية بطبقة من الزلط أو التحكم فى سرعة التيار.
- وتختلف معالجة تربة الأساس Subgrade بغرض التبطين وفقا للظروف فقد تشمل إستخدام تربة الأساس كجزء من التبطين أو قد تحتاج لزيادة الحفر بما يسمح بوضع طبقة حماية بين تربة الأساس وطبقة التبطين. ويمكن إستخدام التربة الرملية الطميية مثل الراسب الطفالى Loess أحيانا بشرط أن يتم فردها على طبقات منتظمة ودمكها وفى هذه التربة فإن الطبقات الأفقية بالقاع لا يتم حفرها ويكتفى بحرثها بمحراث قرصى Plough ثم دمكها أما الميول الجانبية فيتم أرنكتها (بطريقة غير منتظمة) لتكون جاهزة لإستقبال التبطين المضغوط.
- أما فى حالة التربة الرملية أو الرملية الزلطية فليس هناك حاجة لمعالجة تربة الأساس حيث أن مواد التبطين سوف لا تندمج أو تفور فى فجوات طبقة الأساس أما فى حالة وجود فجوات فى طبقة الأساس كما يحدث فى حالة التربة الزلطية أو من الطبقات الصخرية التى يتم تكسيرها بالآلات فإنه من الضرورى زيادة الحفر إلى حد يمكن عليه إنشاء طبقة مرشح من الرمل والزلط وذلك قبل وضع طبقة التبطين.

١-٧-٢ إعتبارات تصميم القطاع

الأسس العامة التى تؤخذ فى الإعتبار عند تصميم وتنفيذ الترع المبطنة ترابيا هى :

١. يصل عرض قاع الترعة (b) إلى ثلاثة أمثال عمق القطاع (d) للفروع والثانويات بينما يصل إلى ٨ أمثال العمق فى الترع ذات القطاعات الكبيرة.
٢. الميول الجانبية فى حالة الترع الترابية تصل إلى ٢/٣ وقد تكون أكثر إنبساطا طبقا لمواصفات التربة التى ستستخدم فى التبطين فى الموقع.
٣. سرعة تدفق المياه المسموح بها تختلف وفقا لنوع مواد التبطين وتتراوح هذه السرعة ما بين ٠,٣ - ١,٢ متر / الثانية.
٤. يؤخذ معامل الخشونة n لمانتج (Manning) ٠,٠٢٥ للفروع الصغيرة التى يقل تصرفها عن ٢,٨ م^3/الثانية ويؤخذ ٠,٠٢٢٥ أو ٠,٠٢ للترع ذات التصرف الأكبر.
٥. يوضح الشكل (١-٢٣) قطاعات نموذجية للتبطين الترابى ويؤخذ سمك التبطين الترابى كالتالى حيث (t_1) سمك تبطين القاع بينما (t_2) سمك تبطين الميول الجانبية مأخوذا فى الإتجاه الأفقى وليس عموديا على الميل الجانبى للقطاع.

d (m)	t_1 (m)	t_2 (m)
0.6 max	0.30	0.9
1.2 max	0.45	1.2
1.8 max	0.60	1.8
over 1.8	0.60	2.4



شكل (١-٢٣) قطاعات نمطية للتبطين الترابى

١- المواد المكون منها قطاع الترعة المماسة لسطح المياه أعلى منسوب سطح المياه يلزم إختيارها ذات مواصفات تساعد على الحفاظ على خاصية كتامة المياه وأيضا تكون قادرة على مقاومة النحر فى حالة تشغيل الترعة بطاقات أكبر من التصميمية.

٢- إرتفاع الجسور عن أعلى منسوب للمياه يؤخذ فى المتوسط كحالة الترع غير المبطنة. وفى حالة الترع التى يصل التصرف بها إلى ٢٨ م^{3} / ث أو أكثر فإنه يلزم إختيار مسافة الأمان للتبطين بحيث تكون مناسبة لتغطية ظروف الموقع وعلى وجه العموم فإنها تكون نصف مسافة الأمان العام.

١-٧-٣ التبطين بتربة سميكة مدموكة

ثبت من خلال الإستخدامات أن تبطين مجارى الرى بتربة سميكة مدموكة يعتبر أفضل أنواع التبطين الترابى ويتم إنشاء هذا التبطين من تربة مختارة مختبرة غير منفذة للمياه ويتم دمكها بآلات ومعدات ضغط التربة وفقا للمواصفات الفنية سواء للقاع أو الميول الجانبية وذلك على طبقات لا يتعدى سمك الطبقة منها ١٥ سم بعد الدمك والوصول لأعلى كثافة جافة مقررة.

وفى المعتاد تكون هذه الطبقات المتتالية بعرض يتراوح تدريجيا ما بين ٠,٩٠ حتى ٢,٤٠ متر وبهذا يمكن تشكيل الميول الجانبية بحيث يمكن تكييفها وفقا للمواصفات الفنية.

ويستخدم لذلك معدات نقل الأتربة الثقيلة ومجموعة معدات الفرد والضغط ثم معدات الأرنكة للوصول للقطاع المطلوب والسطح المستوى للتبطين علما بأن السمك المعتاد للتبطين يتراوح ما بين ٦٠ - ٩٠ سم عموديا على الميول. أما سمك تبطين القاع فيتراوح ما بين ٣٠ - ٦٠ سم وإن كان يتغير وفقا لإحتياجات المشروع.

وبالتالى فإنه يمكن تحقيق تكلفة متوازنة معتدلة للتبطين الترابى السميك إذا كان حجم المشروع كبيرا يبرر إقتصاديات تشغيل معدات الأتربة الثقيلة وأيضا إذا توفرت التربة المطابقة للمواصفات بالكميات التى تغطى الإحتياجات وعلى مسافات نقل إقتصادية. ومن العناصر المؤثرة فى التبطين الترابى السميك المدموك صلاحية التربة المختارة فى أعمال التبطين ، ويوضح الجدول (١-٧) أنواع التربة المختلفة ومواصفاتها الطبيعية وصلاحيتها للتبطين الترابى السميك المدموك.

وعلى وجه العموم فإن أفضل أنواع التربة المناسبة لهذا التبطين هى الزلطية الرملية مع نسبة من الطين الذى يعمل على التماسك والإلتحام وخليط متدرج بدرجة غير منتظمة Poorly graded من الزلط والرمل والطين وهذا الخليط من التربة يتميز بإنخفاض النفاذية ودرجة ثباته عالية High stability وذات قدرة عالية لمقاومة النحر.

ومن وجهة النظر الإقتصادية فمن المعتاد خلط تربة الأساس الحرشة بالتربة الناعمة المتوفرة فى المتارب القريبة لتكوين تبطين ثابت كتيم مندمج القوام.

جدول (١-٧) الخواص الطبيعية للتربة وصلاحيتها للإستخدام فى أعمال التبطين

أسماء نمطية لمجموعات التربة	الرمز *	خواص التربة **			مناسبتها للترع ***	
		النفاذية	قوة القص	الكثافة بعد الدمك	مقاومة النحر	بطانة ترابية مدموكة
زلط متدرج ، خليط رمل وزلط	GW	١٤	١٦	١٥	٢	-
زلط غير متدرج ، خليط رمل وزلط	GP	١٦	١٤	٨	٣	-
زلط طميى ، خليط غير متدرج من زلط ، رمل وطمى	GM	١٢	١٠	١٢	٥	٦
زلط طينى ، خليط غير متدرج من زلط ، رمل وطين	GC	٦	٨	١١	٤	٢
زلط مع رمل وطين للتلاحم	GW-GC	٨	١٣	١٦	١	١
رمل متدرج ، رمل زلطى	SW	١٣	١٥	١٣	٨	-
رمل غير متدرج ، رمل زلطى	SP	١٥	١١	٧	٩	-
رمل طميى ، خليط رمل وطمى غير متدرج	SM	١١	٩	١٠	١٠	٧
رمل طينى ، خليط رمل وطين غير متدرج	SC	٥	٧	٩	٧	٤
رمل مع طين للتلاحم	SW-SC	٧	١٢	١٤	٦	٣
طمى غير عضوى ورمل شديد النعومة ، رمل ناعم طميى أو طينى	ML	١٠	٥	٥	-	٨
طين غير عضوى منخفض أو متوسط اللدونة ، طين زلطى ، طين رملى	CL	٣	٦	٦	١١	٥

أسماء نمطية لمجموعات التربة	الرمز *	خواص التربة **			مناسبتها للترع ***	
		النفاذية	قوة القص	الكثافة بعد الدمك	مقاومة النحر	بطانة ترابية مدموكة
طمــى عضــوى ، طــين طميــى عضوى منخفض اللدونة	OL	٤	٢	٥	-	٩
طمــى غيــر عضــوى ، تــربة ، تربة رملية ناعمة أو طميية بها ميكا أو دياتومات ، طمى مرن	MH	٩	٣	٢	-	-
طين غير عضوى عالى اللدونة	CH	١	٤	٤	١٢	١٠
طين عضوى متوسط إلى عالى اللدونة	OH	٢	١	١	-	-

* تصنيف التربة حسب التصنيف الموحد Unified classification system
** تدل الأرقام تصاعديا على تزايد قيمة الخاصية (أوطاها رقم ١ وأعلاها رقم ١٦)
*** تدل الأرقام تناقصيا على الأفضلية النسبية للتبطين (١ هى الأفضل)

١-٧-٤ التبطين بتربة غير سميكة مدموكة

التبطين الترابى غير السميك المدموك يتكون من طبقة بسمك يتراوح ما بين ١٥ - ٣٠ سم من تربة متماسكة مدموكة بدرجة عالية وأحيانا يتم تغطيتها بطبقة حماية من تربة خشنة أو زلطية بسمك يتراوح ما بين ١٥ - ٣٠ سم.

ويختلف سمك طبقة التبطين والحماية وفقا لنوع ومواصفات التربة المستخدمة وسرعة تيار المياه المتدفقة بالترعة وعلى سبيل الإقتراح فإن التربة الطينية الزلطية يمكن إستخدامها بنجاح بدون طبقة غطاء أو حماية إذا ما كانت قوة النحر غير عالية بينما من الضرورى إستخدام طبقة الحماية لمقاومة النحر إذا كانت التربة المستخدمة هى التربة السلتية ذات لدونة منخفضة. ويتضمن الجدول (١-٧) خواص ومواصفات التربة الصالحة للإستخدام فى التبطين الترابى ومنها يتضح أن التربة الصالحة للإستخدام فى التبطين غير السميك المدموك هى :

١- زلط مع رمل وطين للمساعدة على التماسك والإلتحام
Gravel with sand clay binder (GW-GC)
٢- تربة طينية زلطية Clayey gravel (GC) .
٣- رمال مع طين للتماسك Sand with clay binder (SW-SC) .
٤- تربة طينية رملية Clayey sands (SC) .
٥- طين منخفض اللدونة Lean clays (CL) .
٦- تربة طينية عالية اللدونة Fat clays (CH) .

وهذه التربة الأخيرة قد لا تكون مناسبة للترع المعرضة للبلل والجفاف لتعرضها للإنتفاخ والإنكماش ما لم يتم حماية التبطين بطبقة من تربة زلطية رملية ، وفى حالة إستخدام التربة المتاحة فى الموقع لأعمال التبطين غير السميك المدموك فإنه يلزم مراعاة أن يتم قبل إستعمالها تحديد قيم أعلى كثافة لها والرطوبة القصوى المثلى والنفاذية بالتجارب المعملية لتؤخذ فى الإعتبار فى التنفيذ.

وعملية دمك التبطين الترابى غير السميك من المفضل أن يتم بإستخدام هراسات حوافر الغنم فى المرحلة الأولى ثم بالهراسات العادية الهزازة ويمكن إستخدام معدات نوعية أخرى مناسبة لهذه الأعمال ، وإحدى هذه الطرق هو أن يتم تشغيل هذه المعدات بطول المسطاح إذا كان عرض المسطاح يسمح بحركة المعدات بثبات.

١-٨ التبطين لمقاومة تآكل وإنهيار جسور المجارى المائية

١-٨-١ نحر وتآكل قطاعات الترع

تعتبر ظاهرة إنهيارات وتآكل جسور وجوانب قطاعات المجارى المائية من أخطر المشاكل التى تتعرض لها هذه المجارى. إذ يترتب عليها نتائج تعتبر خطيرة منها زيادة الفاقد بالتسرب والتغيرات فى أبعاد التصميم الهيدروليكى للترعة وما قد يترتب على ذلك من تغير فى المناسيب الفعلية للمياه بشكل مخالف للمناسيب التصميمية والتى تحددت فى التصميم لتناسب المناسيب المقررة لتغذية الفروع ورى الأراضى.

وتنحصر أسباب ومظاهر تعرض قطاعات الترع للنحر والتآكل التى قد تمتد إلى تهايل وإنهيار الجوانب فى الأتى :

١- نحر التربة بتأثير سرعة تيار المياه.
٢- إنفصال أتربة الميول الجانبية المشبعة بالمياه والمتماسكة وغير القابلة للصرف الحر وإنهيارها نتيجة الإنخفاض السريع للمياه بالترعة.
٣- سيولة Liquefaction التربة السلتية أو الرملية المشبعة.
٤- نحر التربة نتيجة تسرب المياه الأرضية بالأراضى المجاورة إلى حبس الترعة عند إنخفاض مناسيب المياه بها.
٥- نحر جسور أو قاع الترعة أو كليهما نتيجة تأثير موجات تيارات المياه الناتجة من هبوب رياح شديدة أو بفعل البواخر المارة إذا كان المجرى ملاحيا كالرياحات والترع الملاحية.

وتختلف مراحل وميكانيكية مراحل هذه الظواهر حسب عوامل كثيرة منها سرعة المياه بالترعة وخواص التربة التى تشق فيها الترعة ومنسوب المياه الأرضية فى المناطق المجاورة للترعة وتذبذب مناسيب المياه بالترعة نفسها.

وتنقسم أعمال حماية مجارى الترع وجسورها من التآكل والإنهيار إلى الأعمال التالية :

- التبطين Lining .
- التبطين بالنسيج الصناعى Fabric system erosion prevention .
- التبطين بأحجار الريبراب Stone riprap system .
- التبطين بالجابيونات Gabions system .
- التبطين بتدبيش الأحجار Stone pitching system .

١-٨-٢ التبطين لمقاومة تآكل وإنهيار جسور المجارى المائية

لا تتوقف فوائد التبطين عند منع تسرب المياه المتدفقة بالترعة بل تمتد فوائده إلى دور هام ومؤثر وهو مقاومة تآكل وإنهيارات جسور الترع نتيجة نحر سرعة التيار للتربة أو تأثير الموجات الناتجة من الرياح الشديدة وأيضا السرعات الناتجة من التيارات المائية المعاكسة كما يقاوم التبطين نحر التربة وتهايلها نتيجة تسرب المياه الأرضية بالأراضى المجاورة إلى حبس الترعة عند إنخفاض مناسيب المياه بالترعة.

وقد أشارت البحوث والدراسات التى تمت فى هذا المجال إلى أن أنسب أنواع التبطين لمقاومة تآكل وإنهيارات جسور الترع هو التبطين بالخرسانة الأسمنتية والتبطين بالخرسانة الأسفلتية وذلك وفقا للإشتراطات والمواصفات الخاصة بهذه الأنواع.

١-٨-٣ إستخدام النسيج الصناعى لمقاومة النحر

يستخدم النسيج الصناعى وغشاء البلاستيك عالى الكثافة فى أعمال حماية الترع والمجارى المائية من ظاهرة النحر وأيضا تقوية جسورها لحمايتها من التهايل الذى تتعرض له حيث يعمل هذا الغشاء أو النسيج على حماية التربة من تأثير حركة المياه المباشرة.

وفى الحالات التى تتعرض فيها الترع لضغوط هيدروستاتيكية من الخارج إلى الداخل فإن إستخدام النسيج الصناعى المرشح يؤدى دورا فعالا عند شده وتثبيته حيث يسمح بمرور المياه دون حبيبات التربة مما يمنع النحر والتآكل. والنسيج المستخدم فى هذه الأعمال يمكن أن يكون منسوجا Woven أو غير منسوج Non woven والنسيج المنسوج له نفاذية أكبر ولذلك يستعمل فى التربة ذات الحبيبات الأكبر حجما أما النوع غير المنسوج فيستخدم فى التربة دقيقة الحبيبات كالطين والسيلت.

١-٨-٣-١ إختيار نوع النسيج

يلزم عمل الدراسات والإختبارات التى تضمن إختيار أنسب أنواع النسيج للحالات المختلفة وتشمل الدراسات :

- دراسة التحليل الميكانيكى للتربة على طول مسار الترعة وتحديد حجم حبيباتها ودراسة حركة المياه الأرضية لتحديد درجة نفاذية النسيج المطلوبة.
- دراسة إتزان الميول لجوانب الترعة والجسور وذلك بتحديد القوى الدافعة وقوى المقاومة ومعامل الأمان المناظر الذى يجب أن تزيد قيمته عن الواحد الصحيح. وبالرجوع إلى الشكل (١-٢٤) يمكن إفتراض مركز الإنهيار ونصف قطر الإنهيار لتهايل قوسى دائرى ويحسب معامل الأمان من المعادلة التالية :

$$Fs = \frac{\text{Resisting moment}}{\text{Driving moment}} = \frac{(C\,\widehat{ab})\,(R)}{(W)\,(X)} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (1-21)$$

حيث

Fs = معامل الأمان لإتزان الميل

C = قوة قص التربة على طول القوس (ab)

R = نصف قطر سطح الإنهيار

W = وزن التربة المشاركة فى الإنهيار

X = المسافة الأفقية بين مركز سطح الإنهيار ومركز ثقل وزن التربة المشاركة فى الإنهيار

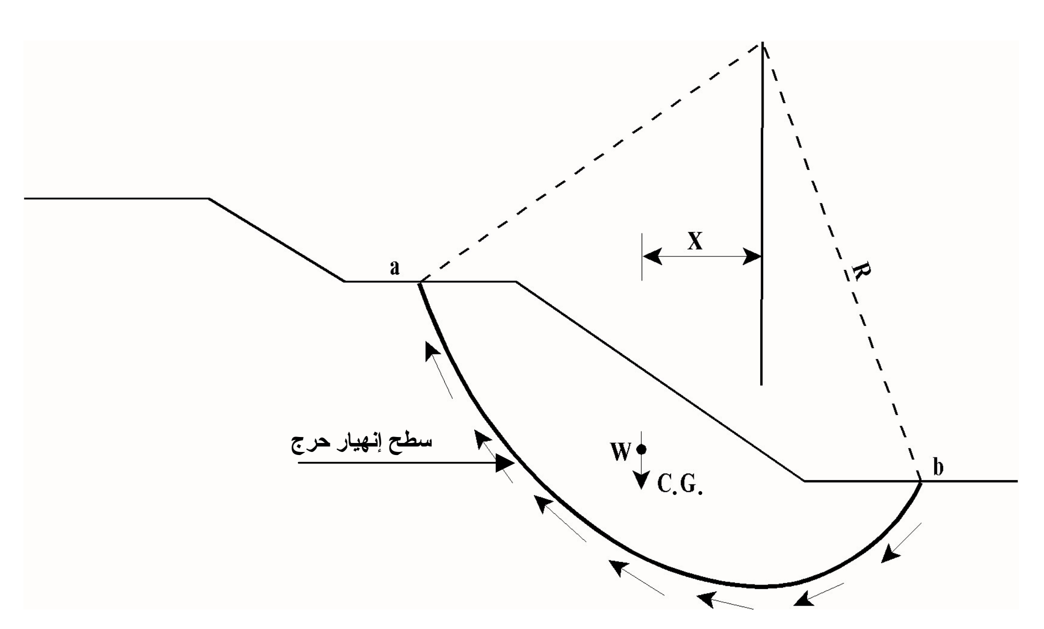
وتعتبر الميول فى وضـــع تمام الثبات إذا كانت قيمـــة معامل الأمـــان ($Fs \geq 2$) وعندمـــا تكون قيمة ($Fs = 1$) فإن الميول تكون على حافة الإنهيار.

وبتحديد مسار منحنى سطح الإنهيار المتوقع الذى يعطى أقل قيمة لمعامل الأمان يمكن تحديد أماكن النسيج الصناعى حيث يتم وضعه فى خطوط موازية لقاع الترعة والجسور على مسافات كل ٣٠ ـ ٥٠ سم حسب متطلبات التصميم وبحيث يقطع خط سطح الإنهيار (التهايل) كما هو موضح بالشكل (١-٢٥). حيث يقوم النسيج على هذا الوضع بتسليح التربة وتقويتها على مسار سطح الإنهيار مما يمنع إنزلاق التربة حيث يعمل النسيج على تحسين معامل أمان ثبات ميول وجسور الترعة ضد التهايل.

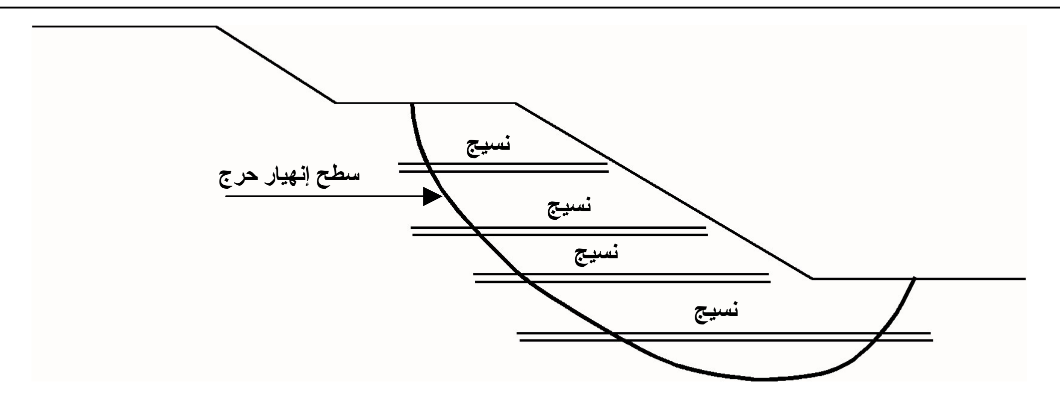
١-٨-٣-٢ المواصفات الفنية للنسيج

النسيج المطلوب إستخدامه فى أعمال حماية قطاعات مجارى الرى ضد النحر والتآكل والإنهيارات يلزم بالضرورة أن يتميز ببعض الخصائص والمواصفات الفنية التى تجعله مناسبا لمقاومة ديناميكية القوى المؤثرة فى حركة النحر والإنهيار.

ولهذا يلزم أن يكون الغشاء أو النسيج المستخدم فى هذه الأعمال ذا مواصفات فنية مميزة بالنسبة لمقاومة الإحتكاك مع التربة وذا مقاومة عالية للشد وقدرة جيدة على مقاومة التمزق والإختراق وذا نفاذية عالية. والموضح فيما يلى بيان بعناصر المواصفات الخاصة بمقاومة التمزق ومقاومة الإختراق لكل من غشاء البولى إيثيلين عالى الكثافة ونسيج البولى بروبولين المنفذ للمياه وغير المنفذ للمياه ، جدول (١-٨).



شكل (١-٢٤) شكل توضيحى لإنهيار (عدم ثبات) ميل



شكل (١-٢٥) شكل توضيحى لتأثير نسيج صناعى فى مقاومة إنهيار (عدم ثبات) ميل

جدول (١-٨) مقارنة بين خواص غشاء البولى إيثيلين عالى الكثافة ونسيج البولى بروبولين

الخاصية	HDP بولى إيثيلين عالى الكثافة	بولى بروبولين	
		منفذ للمياه	غير منفذ للمياه
مقاومة التمزق نيوتن	٢٠٠ - ١٣٣	٢٨٠٠ - ٥٨٠	٦١٥ - ١٧٥
مقاومة الإختراق نيوتن	٣٥٦ - ٢٣١	٣٧٠٠ - ٥٠٠	٣٤٥٥ - ٥٨٠٠

١-٨-٤ التبطين بأحجار الريبراب

يستخدم التبطين بأحجار الريبراب Riprap فى أعمال حماية قطاعات الترع عند مواقع الأعمال الصناعية (فى الأمام والخلف) أو على طول مسار الترعة لحمايتها من النحر.

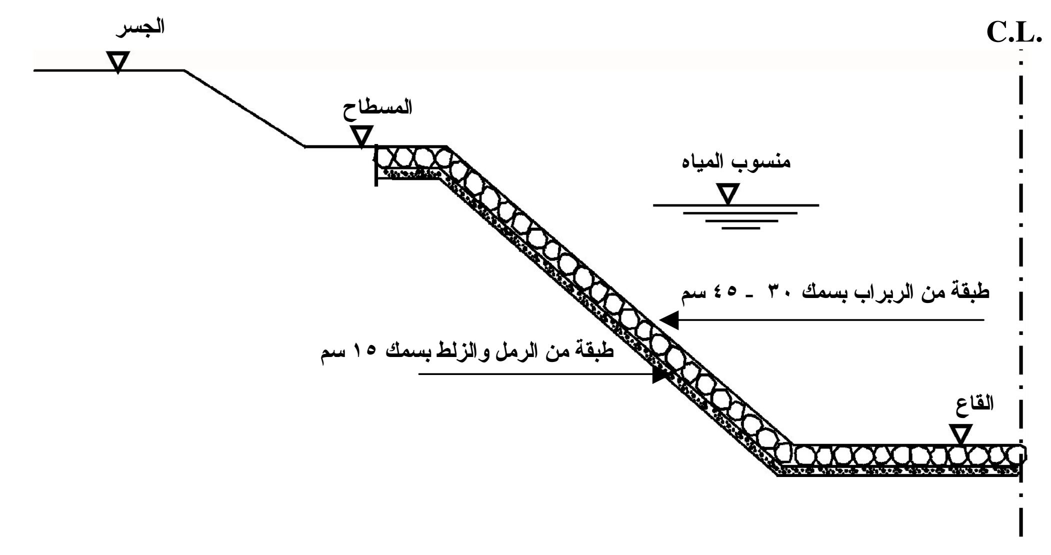
وعند دراسة إستخدام التبطين بأحجار الريبراب فإنه يلزم دراسة موقع المشروع ونوع الترعة وسرعة تيار المياه وذلك لتحديد كمية ونوع الحماية اللازمة وكذلك بعد مناطق توفر الريبراب ووضع برامج التوريد بما يتناسب مع برامج التنفيذ وفى المناطق التى يندر فيها الريبراب توضع دراسات توريد الكميات المطلوبة من المحاجر المعتمدة ويتم تشوينها على هيئة أبراج على طول مسار الترعة.

ويختلف سمك تبطين الريبراب بإختلاف نوع التربة وحجم قطاع الترعة وسرعة المياه. وعند تحديد أحجام وكمية المواد المطلوبة لقطاع التبطين الآمن فإنه يلزم التحقق من أنها تفى لتغطية المقاييس التصميمية لهذه العناصر.

ويوضح الشكل (١-٢٦) القطاع التصميمى القياسى للتبطين بالريبراب فى أعمال الوقاية ضد النحر. وتوجد أربعة نماذج لأعمال الحماية بالريبراب تمثل أدنى حجم وكمية للمواد اللازم إستخدامها لتشكيل قطاع الحماية. ويلزم مراعاة عمل التعديلات اللازمة التى قد تتطلبها عناصر تصميم المشروع.

- نموذج (١) زلط حرش سمك ١٥ سم.
- نموذج (٢) زلط حرش سمك ٣٠ سم.
- نموذج (٣) ريبراب سمك ٣٠ سم فوق طبقة زلط ورمل سمك ١٥ سم.
- نموذج (٤) ريبراب سمك ٤٥ سم فوق طبقة زلط ورمل سمك ١٥ سم.

ويلزم إستخدام النموذج (٣) إذا زادت السرعة فى القطاع المائى عن ١,٥ متر / ثانية بغض النظر عن عمق المياه فى القطاع.



شكل (١-٢٦) قطاع لترعة محمية من النحر بطبقة من الريبراب

الحماية بالريبراب أمام وخلف الأعمال الصناعية

فى حالة منشآت تقاطع الصرف فالموضح فيما يلى أدنى قطاع للحماية بالريبراب.

التصرف م^3 / ث	المداخل Inlet U.S	المخارج Outlet D.S	طول الفرشة فى الخلف (م)
صفر - ٠,٨٤	-	نموذج (٢)	٢,٤
٠,٨٥ - ٢,٥	-	نموذج (٢)	٣,٦
٢,٥٥ - ٦,٧٠	نموذج (١)	نموذج (٣)	٤,٨
٦,٧٥ - ١٦,٨٠	نموذج (٢)	نموذج (٤)	٦,٦

وفى حالة زيادة التصرف عن ١٦,٨ م^3 / ث فإن الأمر يحتاج إتخاذ إعتبارات وإحتياطات أخرى.

وعندما يكون إنحدار قناة التوصيل كبيرا إلى حد ينتج عنه سرعة تزيد عن ٤,٥ م / ث عند نهاية قناة التوصيل فإنه يلزم إستخدام نموذج الحماية للتصرف الأعلى (نموذج (٣) على الأدنى).

وبالنسب للسحارات والأنفاق Syphons and tunnels فإن التفصيلات الأتية للحماية بالريبراب تعتبر الحد الأدنى المسموح به.

عمق المياه d قرب المنشأ (م)	بيان أقل حماية مسموح بها	
	المداخل	المخارج
صفر - ٠,٦٠	-	-
٠,٦١ - ١,٠٥	-	نموذج (١)
١,٠٦ - ٢,١٠	نموذج (١)	نموذج (٢)
٢,١٢ - ٣,٠٠	نموذج (٢)	نموذج (٣)

- وفى حالة زيادة عمق المياه عن ٣ متر فإن إعتبارات أخرى تؤخذ فى الحسبان الأمر الذى قد يتطلب إستخدام نموذج (٣) أو نموذج (٤) حسب قدر الزيادة فى عمق المياه.
- والحماية المقترحة لمداخل السحارات والأنفاق يمكن الإستغناء عنها إذا كانت سرعة المياه أقل من ٠,٧٥ م / ث.
- وفى حالى إحتياج المداخل للحماية بالريبراب فإن طول هذه الحماية = d وعلى أن لا يقل عن ١ متر.
- وفى حالة إحتياج المخارج لهذه الحماية فإن طولها = ٢,٥ d وعلى أن لا يقل عن ١,٥ متر.
- وبالنسبة لقنوات بارشال Parshall flumes - مساقط الحجز Check drops وقنوات المساقط المغلقة Closed conduit drops ذات القطاع المحكم على خرسانة يعطى أدنى قطاع للحماية بالريبراب كما يلى :

عمق المياه d قرب المنشأ (م)	بيان أقل حماية مسموح بها	
	المداخل	المخارج
صفر - ٠,٦٠	-	نموذج (٢)
٠,٦١ - ١,٠٥	-	نموذج (٢)
١,٠٦ - ٢,١٠	نموذج (١)	نموذج (٣)
٢,١٢ - ٣,٠٠	نموذج (٢)	نموذج (٤)

- وفى حالة زيادة عمق المياه عن ٣ متر فإن إعتبارات أخرى تؤخذ فى الحسبان الأمر الذى قد يتطلب إستخدام نموذج (٣) أو نموذج (٤) حسب قدر الزيادة فى عمق المياه.
- الحماية المقترحة لمداخل هذه الأعمال يمكن الإستغناء عنها إذا كانت سرعة المياه أقل من ٠,٧٥ م / ث.
- وفى حالة إحتياج المداخل للحماية بالريبراب فإن طول هذه الحماية = d (عمق المياه) وعلى أن لا يقل عن ١ متر.
- طول الحماية عند المخارج = ٢,٥ d وبحيث لا يقل عن ١,٥ متر.
- وفى حالة حدوث تيارات دوامية عند المخارج فإنه يلزم زيادة طول الحماية إلى ٤ d (أربع مرات عمق المياه).

١-٨-٥ التبطين بالجابيونات Gabions Lining System

الجابيون هو شبك من الحديد المجلفن (السلك) مشكل بحيث يعطى هيئة قفص ويملأ بالزلط أو كسر الأحجار.

- السلك المكون للقفص (الجابيون) يصنع من الصلب الطرى الذى لا يقل جهد الشد له عند الإنهيار عن ٤٠ كجم / مم^{٢} وقطر السلك ٢,٢ مم.
- لا تقل إستطالة عينة من السلك طولها ٠,٣ م عند الإنهيار عن ١٢ %.
- لا تقل نسبة الزنك المستخدم فى الجلفنة عن ٢٥٠ جم / م^{٢} من المساحة السطحية للسلك ويجب أن يتم التحقق من التماسك بين طبقة الجلفنة والأسلاك.
- يجب أن يغطى السلك بطبقة من كلوريد البولى فينيل PVC المرن المطابق للمواصفات القياسية.
- يجب أن تكون الفتحات مسدسة وأن يكون البعد الأصغر من المحور إلى المحور ٦٠ مم.
- ويتم ملء الجابيونات (الأقفاص) بالزلط أو كسر الأحجار ناتج الكسارة التى لا يقل قطرها عن ٨٠ - ٩٠ مم (يلاحظ أن البعد الأصغر من المحور للمحور لشبك السلك هو ٦٠ مم).
- والأبعاد القياسية للقفص (الجابيونة) ٢ x ٤ x ٠,٢٥ متر.
- تستخدم الجابيونات فى حماية الميول وجسور الترع ذات القطاعات الكبيرة والرياحات ويتم تركيب الجابيونات كالموضح بالشكل (١-٢٧) ويمكن أن يوضع نسيج مرشح أو مصمت تحت رصات الجابيونات على سطح الميل لتقوية التكوين الترابى لجسم الترعة ولضمان عدم تحريك الأتربة بتحرك المياه الأرضية.

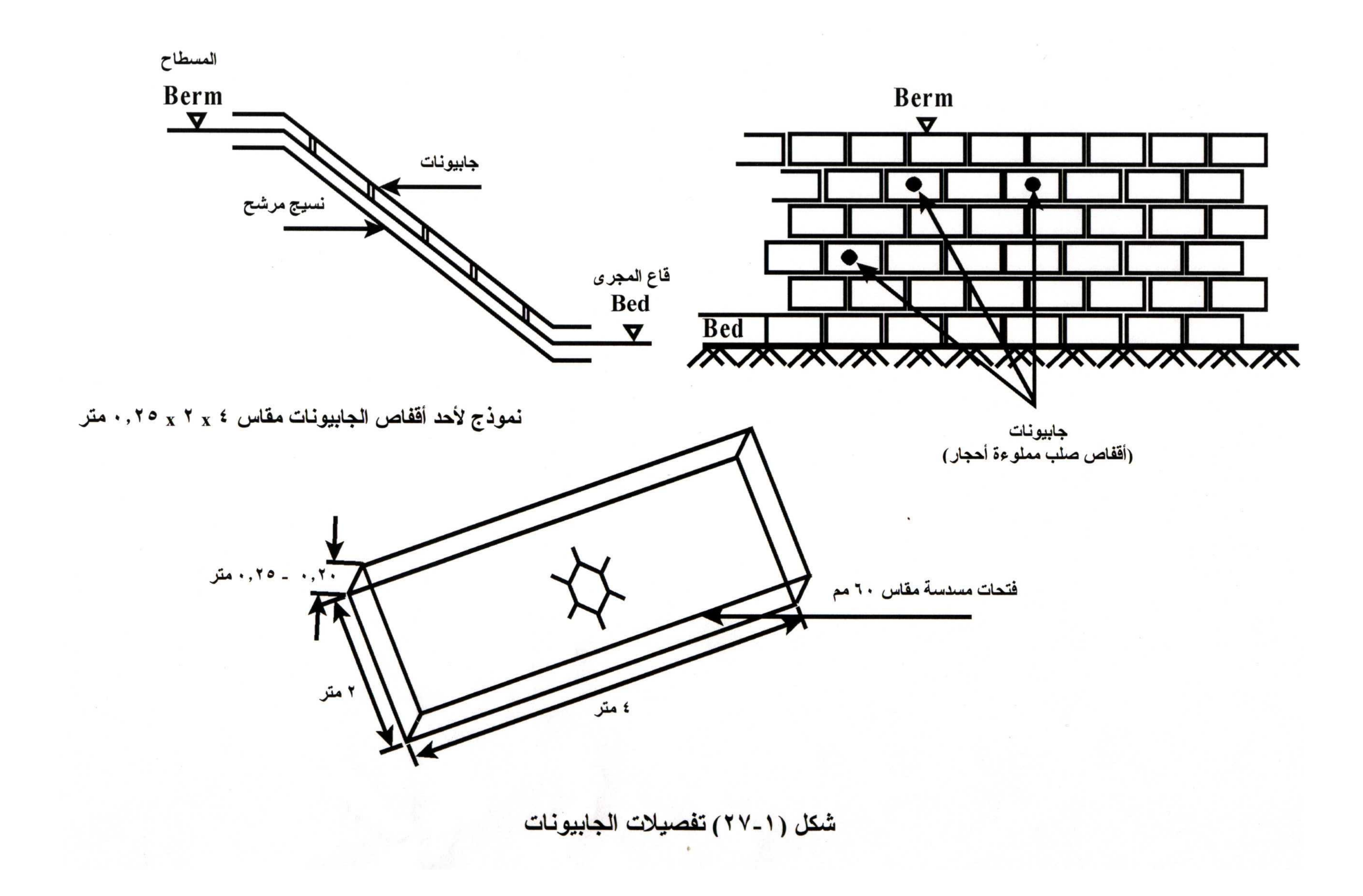
١-٨-٦ التبطين بتدبيش الأحجار

يستخدم التبطين بتدبيش الأحجار لحماية قطاعات الترع من النحر والتآكل ويتم إستخدام الحجر الجيرى الصلد غير القابل للتآكل بفعل عوامل الطبيعة أو الدوامات فى المياه.

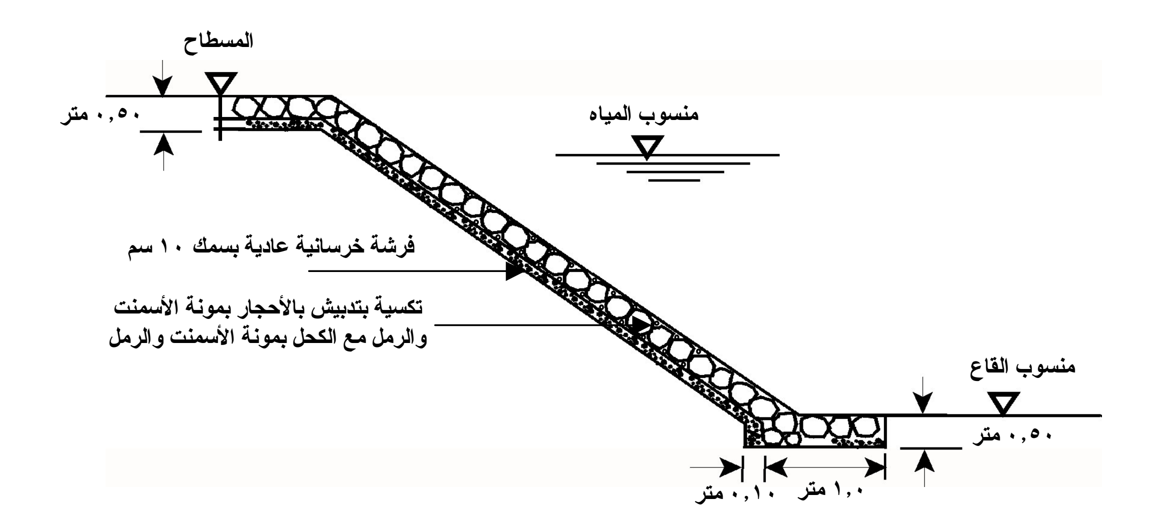
ويتم تبطين قطاع الترعة بتدبيش الأحجار عند مواقع الأعمال الصناعية فى الأمام والخلف أو بطول أحباس كاملة من الترعة.

وتتم مبانى التكسيات فوق فرشة من الخرسانة العادية بسمك ٠,١٠ متر يبنى فوقها كلين الدبش بسمك ٠,٥٠ متر بمونة الأسمنت والرمل ، ومن المفضل (كحل) الفراغات بين الأحجار بمونة الأسمنت والرمل (١ متر^{٣} رمل : ٤٥٠ كجم أسمنت) ويمكن عمل (الكحلة) إما غاطسة أو بارزة والشكل (١-٢٨) يوضح نموذجا لقطاع تبطين الترعة بهذا الأسلوب.

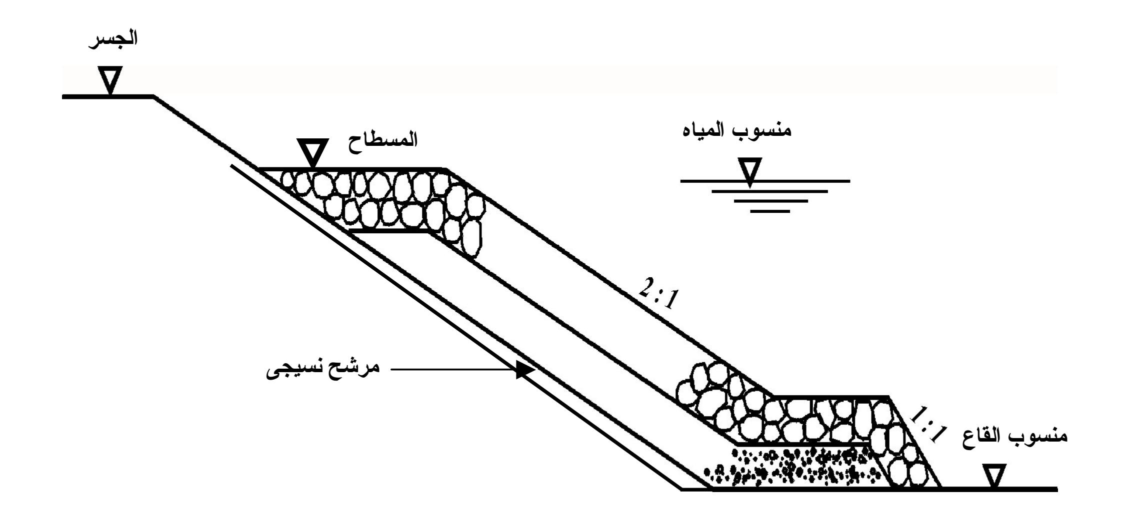
ويمكن إستخدام مبانى الدبش على الناشف (بدون إستخدام مونة) بتشكيل قطاعات مبانى بالدبش كالموضح فى الشكل (١-٢٩) والذى يستخدم فى حماية الميول والجسور من عمليات النحر والتآكل.



شكل (١-٢٧) تفصيلات الجابيونات



شكل (١-٢٨) تبطين قطاع الترعة بتكسيات الدبش



شكل (١-٢٩) قطاع تبطين بالدبش على

١-٨-٧ المراجع

1. Davis, C. and Sorensen, D., "Canals and conduits", chapter 7,Handbook of applied Hydraulics, 3rd ed., McGraw Hill Book Company, New York , U.S.A, (1969).

2. Kraatz, D.B., "Irrigation Canal Lining, Land and Water Development", Series No.1, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Italy, (1977).

3. Kinari, B.Z., "Manual of surface Drainage Engineering", Volume 1, Elsevier Publishing Company, Amesterdam, the Netherlands, (1970).

4. United States Bureau of Reclamation, "Lining of Irrigation Canals", U.S. Government Printing Office, Washington D.C., U.S.A, (1963).

الباب الثانى
المنشآت المائية المتقاطعة Water -Crossing Structures

٢-١ البرابخ Culverts

٢-١-١ تعريف
البربخ هو منشأ لمصرف أو ممر مائى يعترض طريقا أو خط سكة حديد باستعمال مواسير أو مجرى مقفول.

٢-١-٢ معايير التصميم
يكون مقطع البربخ دائريا أو مربعا أو مستطيلا أو شبه منحرف أو على شكل حدوة الفرس أو بيضاويا أو على شكل أخر حسب الظروف المحيطة ومواد الإنشاء المتاحة.

٢-١-٣ مواد إنشاء البربخ

٢-١-٣-١ برابخ من المبانى
ويكون قطاعها ذا فتحة واحدة أو فتحتين حسب ما هو موضح بالشكل (٢-١).

٢-١-٣-٢ برابخ خرسانية مسلحة سابقة الصب ذات قطاع دائرى

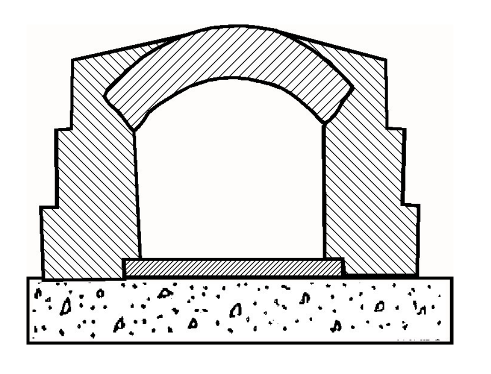
٢-١-٣-٣ برابخ معدنية ذات قطاع دائرى

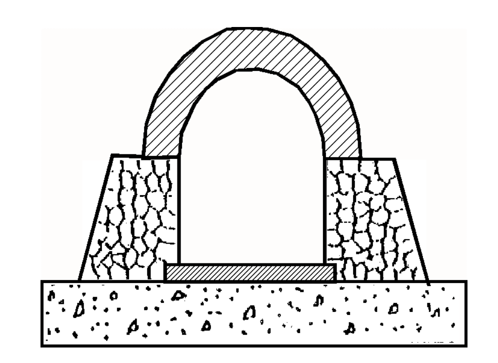
٢-١-٣-٤ برابخ خرسانية مسلحة
يمكن أن يكون مقطعها صندوقيا ذا فتحة واحدة أو أكثر كما هو موضح بالشكل (٢-٢) ويعتمد ذلك على الأحمال فوق البربخ وكذلك تدفقات المياه فى المجرى.

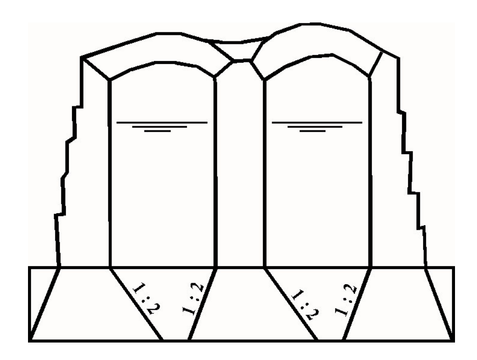
ويتميز القطاع الصندوقى المربع ($S = H$) بقلة الفاقد بالاحتكاك مع جدرانه وأيضا بسهولة تشكيل القطاع عند التنفيذ.

ويتميز القطاع الصندوقى المستطيل ($S > H$) أى العرض أكبر من العمق بالأداء الجيد فى كل من المدخل والمخرج على الرغم من أنه غير إقتصادى من وجهة النظر الإنشائية حيث أن البلاطات الخرسانية الأفقية لهذا القطاع تكون بحورها كبيرة. أما الوضع العكسى عندما يكون عرض الفتحة أقل من عمقها ($S < H$) فيتميز بأنه اقتصادى تجاه الأحمال الثقيلة مع إعطاء عمق كبير فى المدخل إذا كان مطلوبا.

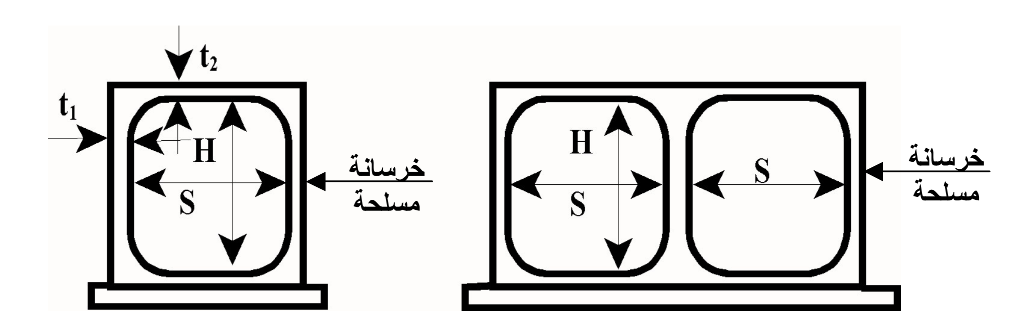
وعموما يجب أن يكون عرض المقطع الصندوقى مساويا لعمقه ما أمكن وفى حالة الإضطرار إلى زيادة العرض عن العمق فيفضل زيادة عدد الفتحات فى قطاع البربخ كما يمكن أن يكون القطاع على شكل دائرى أو بيضاوى كما هو موضح بالشكل (٢-٣) .



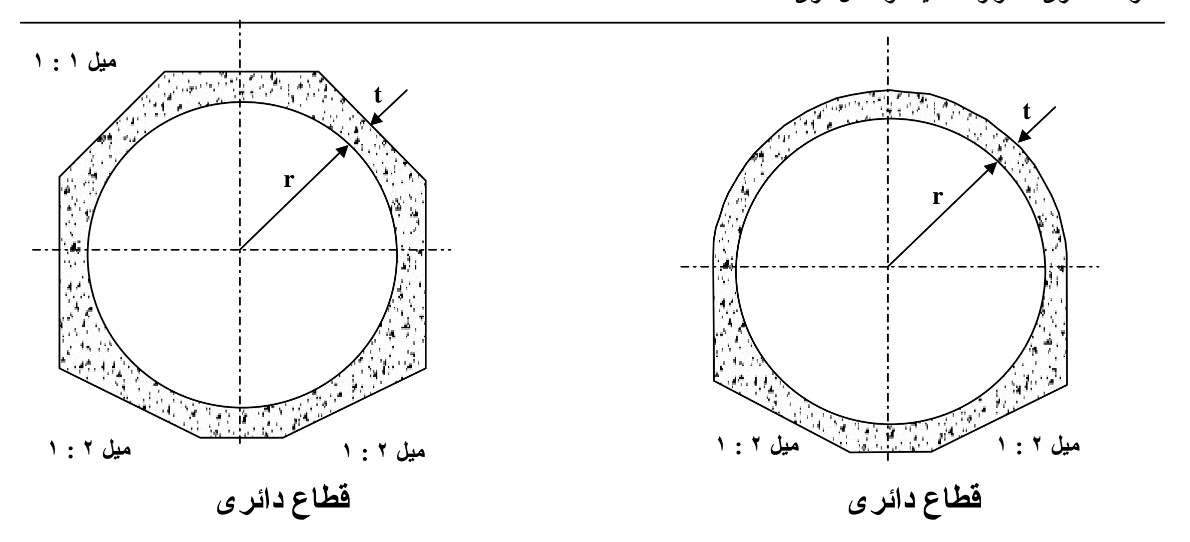


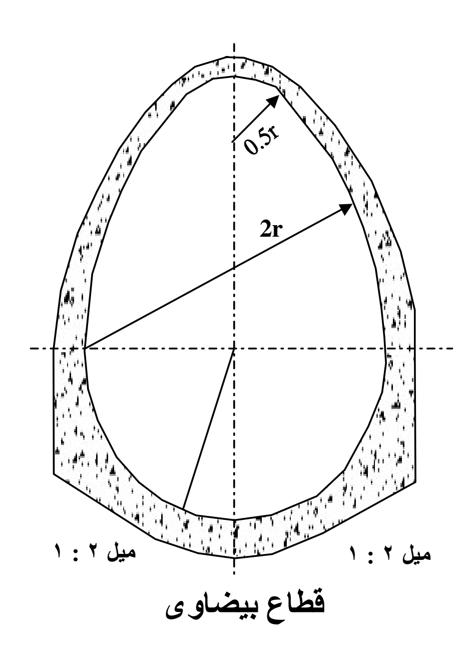


شكل (٢-١) قطاعات فى برابخ مبانى مقوسة ذات فتحة واحدة أو فتحتين



شكل (٢-٢) بربخ ذو قطاع صندوقى من الخرسانة المسلحة ذو فتحة واحدة أو فتحتين





شكل (٢-٣) قطاعات دائرية وبيضاوية فى بربخ من الخرسانة المسلحة

ودائمـا مـا يختار منسوب أعلى فرش البربخ بحيث يكون أقل من منسوب قاع المجرى بإرتفاع لا يقل عن ٥٠ سم فيعمل ميل من التكاسى بالمونة (٥ : ١) على بعد حوالى ٥ متر أمام المدخل وتكون شفة البربخ مغمورة بمقدار يتراوح بين ٢٠ ـ ٣٠ سم .

٢-١-٤ التصميم الهيدروليكى للبرابخ

٢-١-٤-١ فاقد ضغط المياه (H_L) Head Loss

فاقد ضغط المياه فى شبك الأعشاب أمام المدخل (إن وجد) h_{screen} :

$$h_{screen} = C_{screen} \times \frac{v^2}{2g} \tag{2-1}$$

$$C_{screen} = B\left(\frac{t}{S}\right)^{4/3} \sin\alpha \tag{2-2}$$

حيث

t = سمك الخوص Straps للشبك
S = المسافة بين الخوص
α = زاوية ميل الشبك مع الأفقى
v = سرعة المياه بين حائطى المدخل
g = عجلة الجاذبية الأرضية
B = معامل بدون أبعاد يتوقف على شكل قطاع الشبك طبقا للشكل (٢-٤)

فاقد ضغط المياه فى المدخل $h_{entrance}$:

$$h_{entrance} = C_{entrance} \times \frac{v^2}{2g} \tag{2-3}$$

حيث $C_{entrance}$ معامل يتوقف على شكل المدخل طبقا للشكل (٢-٥)

فاقد ضغط المياه بالاحتكاك بحوائط وجدران البربخ $h_{friction}$:
عندما يكون قطاع البربخ مغمورا بالمياه

$$h_{friction} = C_{friction} \times \frac{v^2}{2g} \tag{2-4}$$

فى حالة القطاع الدائرى تطبق معادلة دارسى لحساب $C_{friction}$

$$C_{friction} = \frac{4f\,L}{d} \tag{2-5}$$

حيث

d = قطر الماسورة
L = طول البربخ
f = معامل يتراوح بين ٠,٠٠٤ إلى ٠,٠٠٨

فى حالة البرابخ ذات القطاع الصندوقى يتم حساب $C_{friction}$ من المعادلة التالية

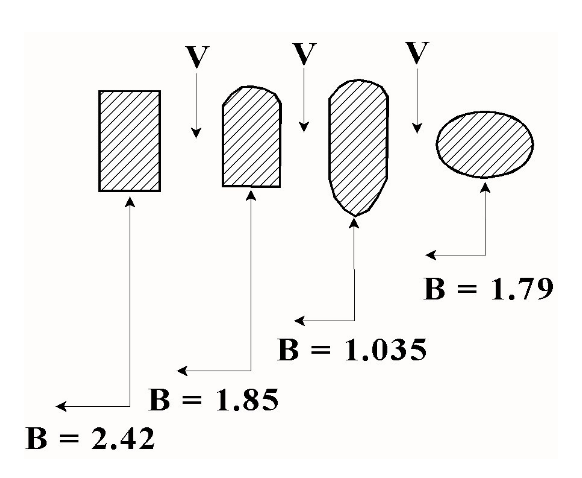
$$C_{friction} = [a\,(1 + \frac{b}{m})\,\frac{L}{m}] \qquad (2\text{-}6)$$

حيث

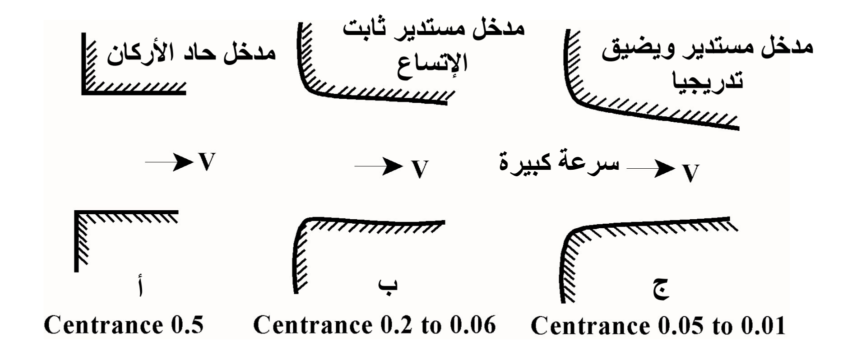
L = طول البربخ

m = نصف القطر الهيدروليكى = المساحة المبتلة من البربخ / المحيط المبتل من البربخ

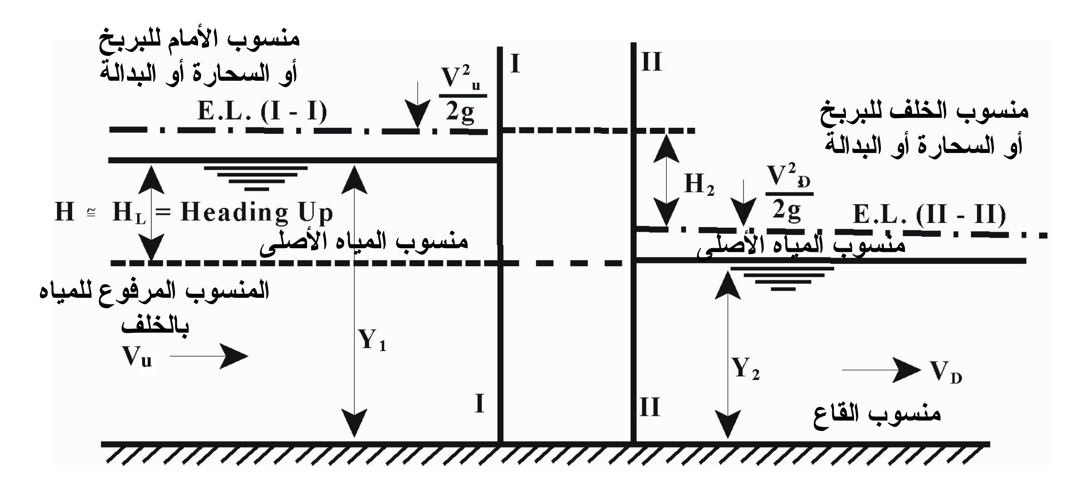
a, b = معاملان طبقا للجدول (٢-١) حيث تختلف العلاقة بينهما بإختلاف نوع المادة المصنوع منها البربخ.



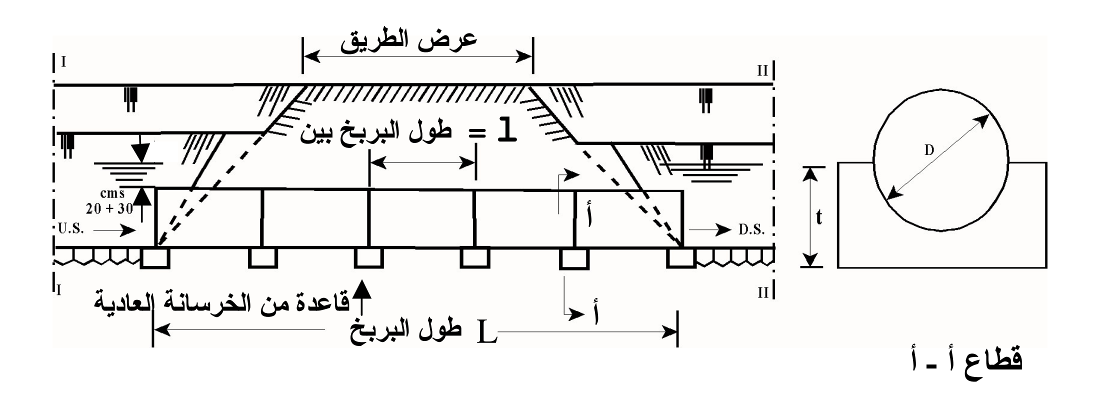
شكل (٢-٤) قيم المعامل B فى المعادلة (٢-٢) والمعادلة (٢-١٨)



شكل (٢-٥) قيم المعامل $C_{entrance}$ طبقا لشكل المدخل



شكل (٢-٦) الطمو عند إعتراض البربخ لمجرى مائى
(أو السحارة لمجرى مائى أو البدالة لمجرى مائى)



قطاع أ - أ

شكل (٢-٧) بربخ ذو قطاع دائرى (ماسورة) مستمر على عدد من القواعد الخرسانية المنفصلة

جدول (٢-١)

b	a	المادة
٠,٠٣٠٥	٠,٠٠٣١٦	برابخ أسمنتية ملساء
٠,٠٢٥٦	٠,٠٠٤٩٧	برابخ حديد ملساء
٠,٠٢٦٥	٠,٠٠٩٩٦	برابخ حديد غير قابلة للصدأ
٠,٠٧٠١	٠,٠٠٤٠١	مبانى طوب وواجهات دستور

يلاحظ أن خط فاقد ضغط المياه بالاحتكاك بحوائط وجدران البربخ $h_{friction}$ يمثل الفاقد الرئيسى لضغط المياه فى البربخ خاصة إذا كان طول البربخ كبيرا بشكل ملحوظ.

فاقد ضغط المياه فى المخرج h_{exit}

$$h_{exit} = C_{exit} \ x \ \frac{v^2}{2g} \qquad (2\text{-}7)$$

حيث C_{exit} معامل يتوقف على شكل المخرج
C_{exit} = ٠,٢ - ٠,٣ إذا كان المخرج مستدير ويتسع تدريجيا
C_{exit} = ١,٠ إذا كان المخرج مستديرا أو حاد الأركان وثابت الإتساع

وبذلك يكون الفاقد الكلى لضغط المياه فى البربخ H_L هو مجموع مركبات الفواقد السابق ذكرها فى المعادلات (٢-١) ، (٢-٣) ، (٢-٤) ، (٢-٧) .

$$TotalH_L = h_{screen} + h_{entrance} + h_{friction} + h_{exit} \qquad (2\text{-}8)$$

ويلاحظ أنه يمكن الحصول على أقل فاقد فى ضغط المياه فى البربخ إذا كان المدخل مستديرا ويضيق تدريجيا بينما المخرج مستديرا ويتسع تدريجيا.

٢-١-٤-٢ الطمو (العلو أو الصاعد) Heading Up

الطمو هو الفرق بين منسوبى المياه بالأمام والخلف نتيجة إعتراض البربخ للقطاع المائى للمجرى. ويوضح الشكل (٢-٦) الفرق بين خطى الطاقة بالأمام والخلف ويمثل الفاقد فى منسوبى المياه عند مرورها بالبربخ.

- قيمة الطمو المسموح به فى البربخ تكون فى حدود ٥ – ١٠ سم ويجب ألا تزيد عن ذلك.
- يجب أن تكون سرعة المياه داخل البربخ (V) فى حالة أقصى تصرف فى حدود من مرتين إلى ثلاث مرات ســرعة المياه المتوسطة فى المجرى على ألا تزيد الســرعة (V) عن ٢ م / ث ولا تقل عن ١ م/ ث.
- يمكن حساب مساحة القطاع المائى للبربخ كما يلى :

فى حالة القطاع الدائرى

$$A_{barrel} = \frac{Q}{V} = \frac{N \pi D^2}{4V} \qquad (2\text{-}9)$$

فى حالة القطاع الصندوقى

$$A_{barrel} = \frac{Q}{V} = \frac{N b d}{V} \qquad (2\text{-}10)$$

حيث
D = قطر القطاع الدائرى للبربخ
b = عرض القطاع الصندوقى للبربخ
d = عمق المياه فى القطاع الصندوقى للبربخ
N = عدد الفتحات بقطاع البربخ

٢-١-٤-٣ برابخ لإمرار مياه السيول

يراعى عند تصميم قطاع هذه البرابخ الدقة فى حساب كمية المياه القصوى المتوقع مرورها فى الثانية من خلال قطاعاتها ويرجع فى ذلك إلى الدراسات الهيدرولوجية.

٢-١-٥ التصميم الإنشائى للبربخ

٢-١-٥-١ إذا كان قطاع البربخ دائريا (ماسورة) وكانت الماسورة محمولة على كراسى خرسانية منفصلة

طبقا للشكل (٢-٧) فإن الماسورة بكامل طولها تكون تحت تأثير عزوم إنحناء فى الإتجاه الطولى نتيجة للأحمال التالية :

- وزن الماسورة.
- وزن المياه بالماسورة.
- وزن أتربة الردم فوق الماسورة.
- الأحمال الحية الموزعة (إن وجدت).
- قوة الدفع من أسفل إلى أعلى Uplift .
- الأحمال الحية المركزية (إن وجدت).

ويمكن تطبيق ما يلى :

- إذا كان عمق أتربة الردم فوق مركز الماسورة أقل من ٣ متر فإنه يمكن إهمال عزوم الإنحناء الطولية الناتجة عن وزن أتربة الردم فوق الماسورة وقوة الدفع من أسفل إلى أعلى.
- إذا كان عمق أتربة الردم فوق مركز الماسورة أكبر من ٣ متر فإنه لإهمال عزوم الإنحناء الطولية الناتجة عن وزن أتربة الردم فوق الماسورة وقوة الدفع من أسفل إلى أعلى فيلزم أن يكون قطر الماسورة (D) مساويا ٠,٢ من عمق أتربة الردم فوق الماسورة.
- يتم حساب عزوم الإنحناء الطولية بإعتبار الماسورة كمرة مستمرة غير محددة أستاتيكيا بإستخدام إحدى طرق التحليل الإنشائى أو بإستخدام الحاسب الآلى.

٢-١-٥-٢ إذا كان قطاع البربخ دائريا (ماسورة) وكانت الماسورة محمولة على فرشة مستمرة فى الإتجاه الطولى

يمكن إعتبار الحالتين التاليتين :

الحالة الأولى

إذا كان الحمل المؤثر موزعا فإنه يمكن حساب كثافة كل من الحمل الميت (D.L) والحمل الحى (L.L) على قطاع الماسورة طبقا للشكل (٢-٨) كما يلى :

$$D.L.:\ g = [(\frac{w + w_1}{2})\ x\ d\ x\ \gamma_e\ x\ \frac{1}{w_1}] + [\ \frac{1}{2}\ (\text{weight of culvert per m}'\ x\ \frac{1}{D}\ ] \qquad (2\text{-}11)$$

$$L.L.:\ p' = p\ (\frac{w}{w_1}) \qquad (2\text{-}12)$$

حيث γ_e هى كثافة أتربة الردم (وزن وحدة الحجوم).

الحالة الثانية

إذا كان الحمل الحى المؤثر مركزا. وتنقسم هذه الحالة إلى الوضعين المبينين فى الشكلين (٢-٩) ، (٢-١٠).

وطبقا للشكل (٢-٩) فإن $d < c$ وعلى ذلك :

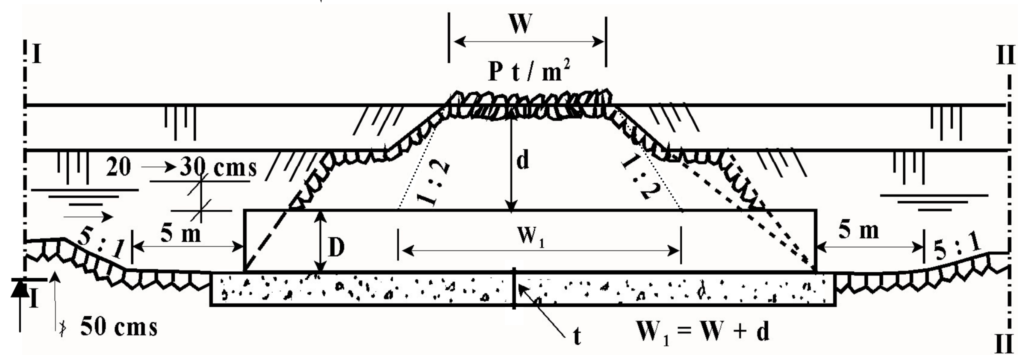
$$x = c - d \tag{2-13}$$

$$L.L.:\ \ p' = \frac{2P}{[\,2\,(b_1 + d) + x\,]\,(b_2 + d)} \tag{2-14}$$

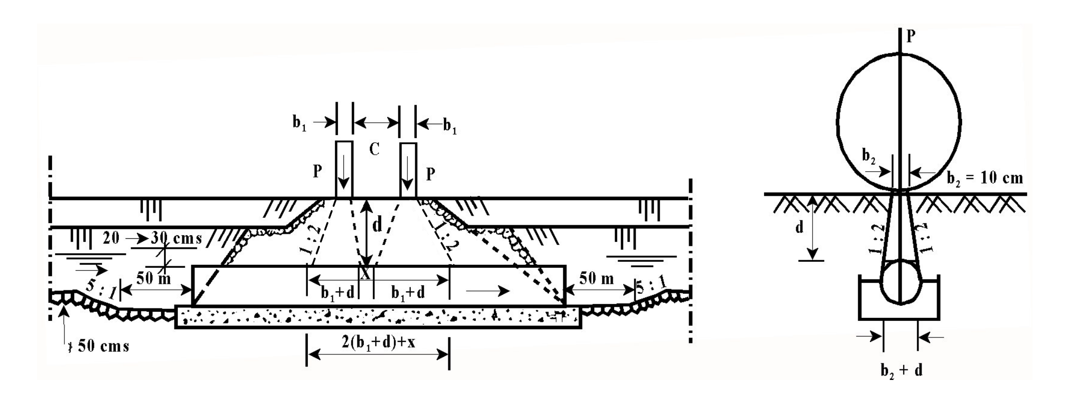
حيث

P = حمل العجلة المركز

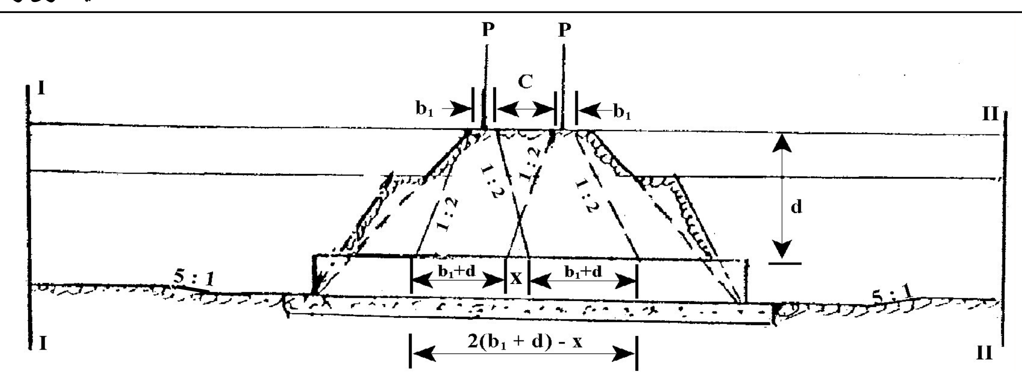
b_2 = مسافة تماس العجلة على الطريق فى الإتجاه العرضى ≅ ١٠ سم



شكل (٢-٨) بربخ ذو قطاع دائرى محمول على فرشة مستمرة من الخرسانة العادية ومعرض لأحمال حية موزعة



شكل (٢-٩) بربخ ذو قطاع دائرى محمول على فرشة مستمرة من الخرسانة العادية ومعرض لأحمال حية مركزة (الوضع عندما تكون $d < c$)



شكل (٢-١٠) بربخ محمول على فرشة مستمرة من الخرسانة العادية ومعرض لأحمال حية مركزة (الوضع عندما تكون d > c)

وطبقا للشكل رقم (٢-١٠) فإن $d > c$ وعلى ذلك

$$x = d - c$$

$$L.L.: \quad p' = \frac{2P}{[\,2\,(b_1 + d) - x\,]\,(b_2 + d)} \qquad (2\text{-}15)$$

ولكل من الوضعين يمكن حساب كثافة الحمل الميت (D.L) كما فى المعادلة (٢-١١) ويمكن تطبيق ما يلى :

- يتم حساب عزوم الإنحناء الطولية نتيجة الأحمال الميتة والأحمال الحية بإستخدام طرق التحليل الإنشائى أو بإستخدام الحاسب الآلي.
- فى حالة أن القطر الخارجى للماسورة (D) يزيد عن ٠,٧٠ متر فإن سمك الفرشه أسفل الراسم السفلى للماسورة (t) لا يقل عن (0.20 D + 0.30) متر.
- فى حالة تكون قطاع البربخ من أكثر من ماسورة فإن المسافات بين مراكز المواسير لا يقل عن [D + (50 to 80)] سم.

٢-١-٥-٣ إذا كان قطاع البربخ صندوقيا

فى هذه الحالة يمكن حساب الأحمال المؤثرة على البربخ بإعتبار الحالتين التاليتين :

الحالة الأولى

إذا كان البربخ معرضا لأحمال حية موزعة منتظمة فإنه يمكن حساب كثافة كل من الحمل الميت (D.L) والحمل الحى (L.L) على البربخ طبقا للشكل (٢-١١) كما يلى :

$$D.L.: \quad g = (\frac{w + w_1}{2})\ x\ d\ x\ \gamma_e\ x\ \frac{1}{w_1} + \frac{1}{2}\,(\text{weight of culvert / m x }(\frac{1}{s}) \qquad (2\text{-}16)$$

$$L.L.: \quad p' = p\,(\frac{w}{w_1}) \qquad (2\text{-}17)$$

حيث γ_e هى كثافة أتربة الردم (وزن وحدة الحجوم).

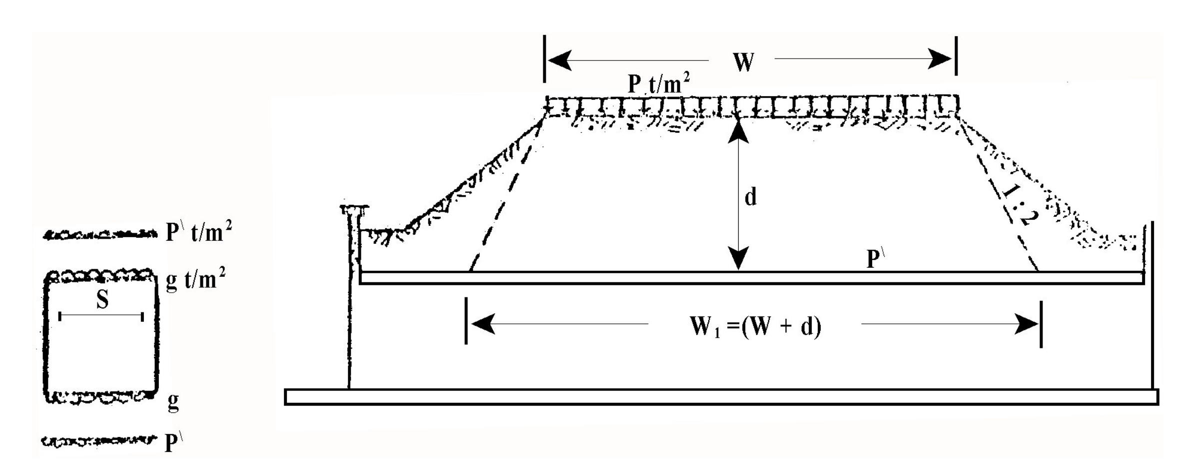
الحالة الثانية

إذا كان البربخ معرضا لأحمال حية مركزة. وفى هذه الحالة يمكن إعتبار الوضعين المبينين بالشكلين (٢-٩) ، (٢-١٠) ويتم حساب كثافة الحمل طبقا للمعادلتين (٢-١٤) ، (٢-١٥) بالبند (٢-٢-١-٥-٢). أما كثافة الحمل الميت (D.L) فيتم حسابها طبقا للمعادلة (٢-١٦).

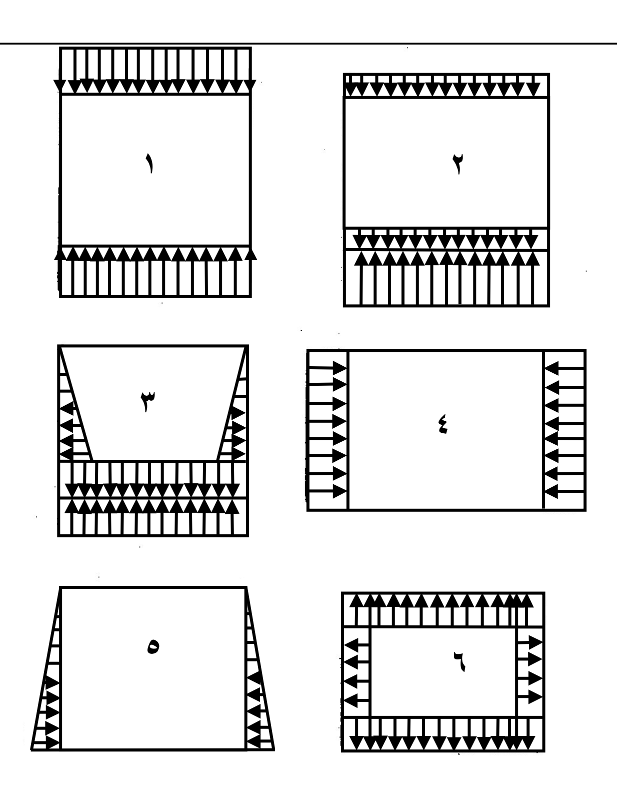
٢-١-٥-٤ حالات التحميل للبرابخ ذات القطاع الصندوقى

يمكن حصر حالات التحميل على القطاع الصندوقى للبربخ فى الحالات الست التالية والموضحة بالشكل (٢-١٢).

١- حمل رأسى منتظم يشمل وزن التربة أعلى البربخ + الحمل الحى على طول البربخ.
٢- الحالة (١) + وزن البربخ بكامل طوله.
٣- ضغط المياه الداخلية حتى أعلى القطاع الصندوقى والناتجة عن وزن المياه بكامل القطاع الصندوقى.
٤- الضغوط العرضية الخارجية المنتظمة على جانبى القطاع الصندوقى والناتجة عن الحمل الحى الموزع على سطح التربة.
٥- الضغوط المثلثية العرضية الخارجية على جانبى القطاع الصندوقى والناتجة إما عن التربة المحيطة بالقطاع أو المياه الجوفية بالتربة المحيطة أو كليهما.
٦- الضغوط الهيدروستاتيكية الداخلية على قطاع البربخ نتيجة عمود الماء أعلى السطح العلوى للقطاع. وهذه الحالة يمكن إعتبارها فى حالة المجارى المضغوطة Pressure Conduits ويمكن إهمالها فى التصميم العادى للبرابخ. وعموما هذه الحالة من التحميل مرتبطة بحالة التحميل رقم (٣).



شكل (٢-١١) بربخ ذو قطاع صندوقى معرض لأحمال حية موزعة منتظمة



شكل (٢-١٢) حالات التحميل على القطاع الصندوقى للبربخ

٢-١-٥-٥ السمك العملى لبلاطات القطاع الصندوقى للبربخ ذى الفتحة الواحدة

تعتبر القيم المعطاة هنا استرشادية فقط لإمكانية حساب جساءة بلاطات القطاع الصندوقى للبربخ ذى الفتحة الواحدة لإستخدامها فى التحليل الإنشائى له.

H or (S)	t_1 or (t_2)
1.00 m	0.20 - 0.25 m
1.50 m	0.25 - 0.30 m
1.75 m	0.30 - 0.35 m
2.00 m	0.35 - 0.40 m

يرجع إلى الشكل (٢-٢) لتوضيح المتغيرات t_2, t_1, S, H .

٢-١-٥-٦ القوى الداخلية فى قطاعات البرابخ وتصميم القطاعات

يتم حساب القوى الداخلية فى قطاعات البرابخ سواء كانت قطاعات دائرية (مواسير) أو قطاعات صندوقية بفتحة واحدة أو أكثر تحت تأثير حالات التحميل السابق ذكرها فى البنود السابقة وذلك بإستخدام طرق التحليل الإنشائى أو بإستخدام برامج على الحاسب الآلي. ويراعى تعريض القطاع لحالات التحميل التى تعطى القيم العظمى للقوى الداخلية بالقطاع. ويتم تصميم هذه القطاعات بعد ذلك طبقا لنوع المادة المستخدمة فى تنفيذ البربخ (خرسانة مسلحة – حديد ....) بإستخدام الأكواد المصرية للتصميم أو الأكواد العالمية فى حالة عدم وجود كود مصرى للتصميم.

ملحوظة : يراعى إضافة أحمال الزلازل إلى حالات التحميل المختلفة فى حالة البرابخ الكبيرة والهامة وتؤخذ هذه الأحمال طبقا للكود المصرى للأحمال.

٢-١-٦ حوائط المداخل والمخارج للبرابخ

يفضل أن تكون حوائط مداخل البرابخ (الحوائط الأمامية) من النوع الصندوقى Box Type وأن تكون حوائط مخارج البرابخ (الحوائط الخلفية) من النوع المائل الذى يتسع تدريجيا Splayed Type أو من نوع الأجنحة المنحنية الملتوية Warped Type كما هو موضح بالشكل (٢-١٣).

فى الحوائط التى يقل إرتفاعها عن ٤ متر فإن حوائط المداخل والمخارج للبرابخ يمكن أن تكون كابولية حيث تتكون الحوائط الكابولية من ســاق Stem وقدمه Toe وكعب Heel كما هو موضح بالشــكل (٢-١٤). ويمكن الإسترشاد بالأبعاد الوصفية الموضحة بالشكل.

عند زيادة إرتفاع الحائط الكابولى عن ٤ متر فيتم تدعيمه بإضافة دعائم Counterforts لحماية الساق وبلاطة الكعب وبلاطة القدمة على أن تنفذ الدعائم على مسافات من ٢,٥ - ٤,٥ متر وبحيث لا يقل سمك الساق عن ١٥ سم وذلك حسب ما هو موضح بالشكل (٢-١٤) .

٢-١-٧ فواصل الإنشاء والتمدد والإنكماش لحوائط البربخ

٢-١-٧-١ فواصل الإنشاء

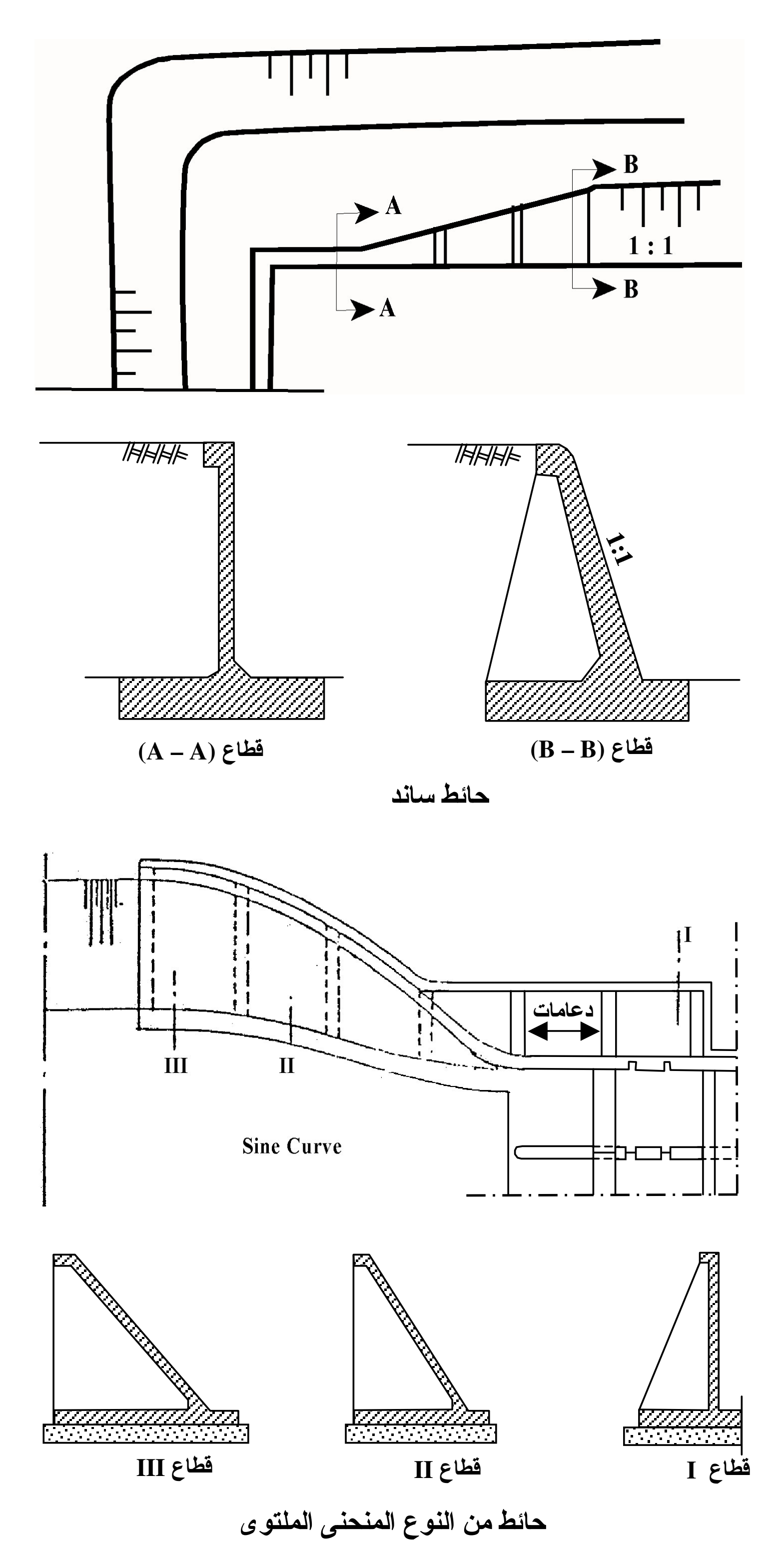
تنتج فواصل الإنشاء عن توقف صب الخرسانات بالموقع لسبب أو لأخر ، ولضمان استمرارية وتجانس جسم الحائط عند استئناف الصب يجب العناية بفواصل الصب والتى يمكن أن تأخذ أحد الأشكال الموضحة بالشكل (٢-١٥) ويمكن الرجوع إلى البند ٩-٥-٦ من الكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشأت الخرسانية المسلحة والخاص بالشروط والاحتياطات لفواصل الصب (الإنشاء).

٢-١-٧-٢ فواصل التمدد

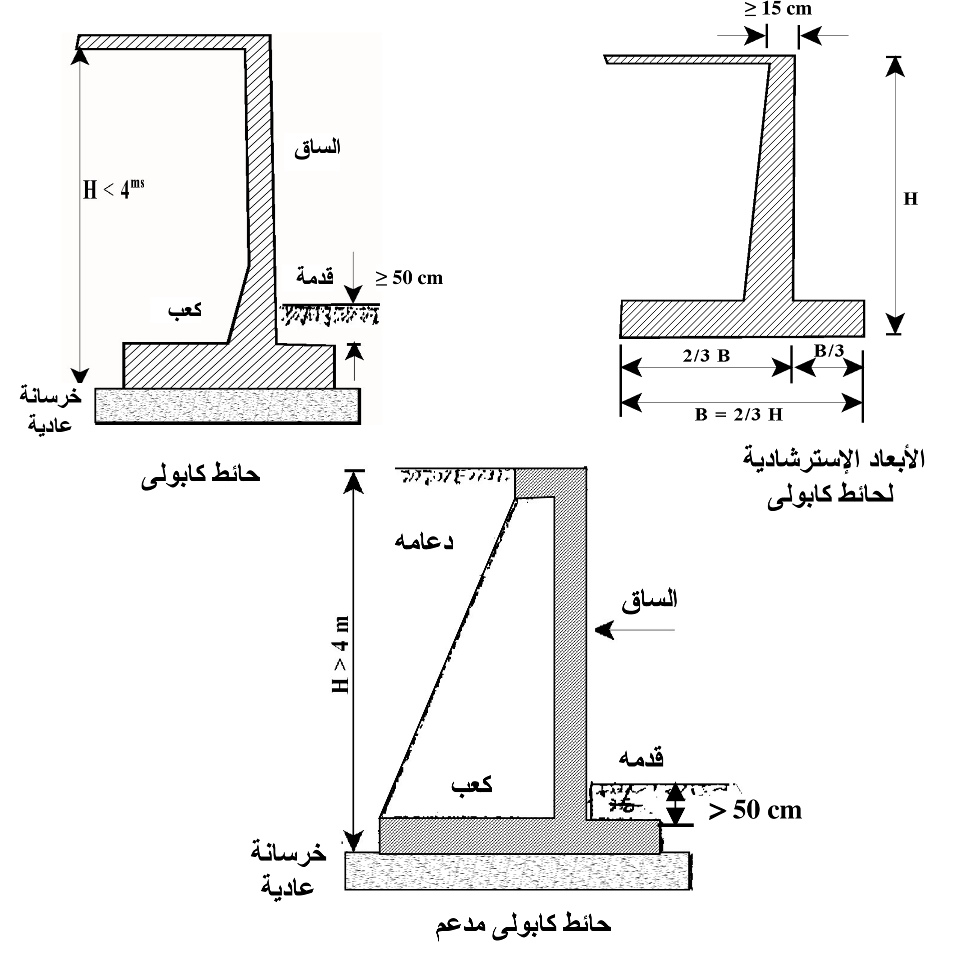
تعمل فواصل التمدد للتحكم فى تمدد الحوائط عند تعرضها لدرجات الحرارة العالية أثناء النهار. ويمكن الرجوع إلى البند ٩-٥-٨ من الكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة بخصوص فواصل التمدد وإشتراطاتها.

٢-١-٧-٣ فواصل الإنكماش

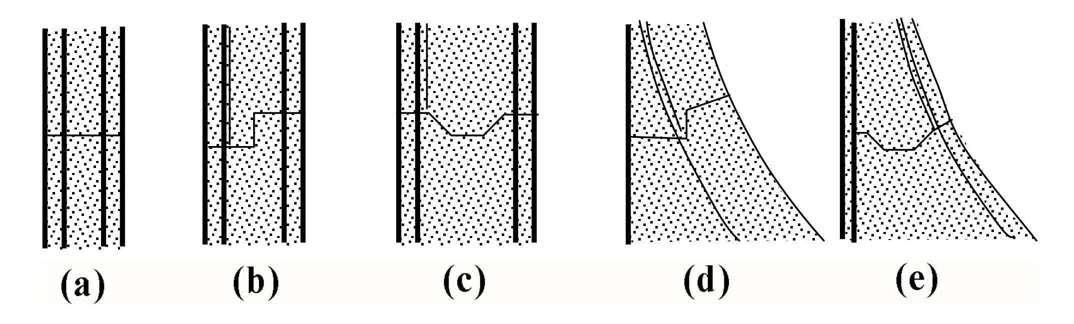
الغرض من هذه الفواصل هو تقليل الشــروخ الناتجة عن إنكماش الخرسانة. ويمكن الرجوع إلى البند ٩-٥-٧ من الكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة وإلى الكود المصرى للأساسات بشأن أماكن فواصل الإنكماش الواجب إتخاذها بشأنها. ويمكن أن تزود فواصل الإنكماش فى الحوائط بموانع Seals لمنع تسرب المياه من هذه الفواصل حيث تتكون هذه الموانع من شرائح معدنية أو من البيتومين أو من المطاط.



شكل (٢-١٣) أنواع حوائط المداخل والمخارج للبرابخ



شكل (٢-١٤) الحوائط الكابولية والمدعمة



شكل (٢-١٥) فواصل الإنشاء بحوائط المدخل والمخرج للبربخ

٢-٢ السحارات Syphons

٢-٢-١ تعريف
السحارة هى منشأ مائى بغرض تمرير مجرى مائى تحت مجرى مائى أخر متقاطع معه.

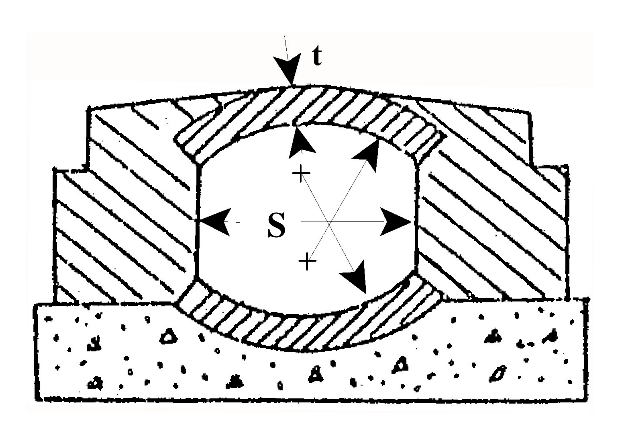
٢-٢-٢ معايير التصميم
- يتم تصميم السحارات بإعتبارها ممتلئة بالمياه.
- عند تقاطع المصارف مع الترع فإنه من الناحية الأقتصادية يختار المجرى ذو التصرف الصغير لتمر مياهه من خلال السحارة تحت المجرى ذى القطاع المائى الكبير.
- تعتمد كمية المياه المسموح بمرورها من خلال السحارات على مناسيب المياه بالمجارى المائية المتقاطعة وحجم التصرفات بها وأيضا الملاحة إن وجدت.

٢-٢-٣ مواد إنشاء السحارة

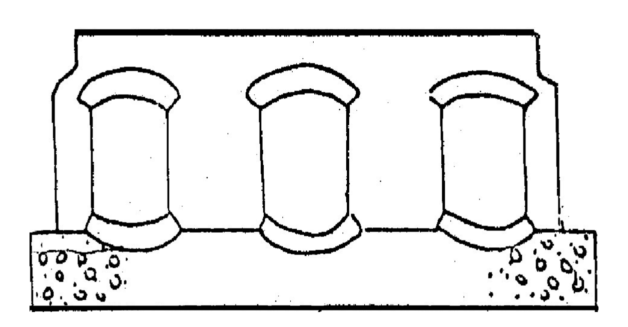
٢-٢-٣-١ سحارات مبانى من الأحجار الدبش الصغيرة أو من الطوب القراميد
هذا النوع من السحارات يعتبر طرازا قديما لا يستخدم حاليا ولكنه منتشر فى السحارات القديمة. وتنشأ سحارات المبانى على هيئة مبانى مقوسة من أعلى ومن أسفل كما هو موضح بالشكل (٢-١٦) وذلك لتلاشى أو تقليل الإجهادات الناتجة عن الإنحناء فى قطاعات السحارة حيث أن مقاومة الشد المسموح بها فى المبانى لا تتعدى ٢٠/١ من مقاومة الضغط لها. ويكون إرتفاع القوس العلوى أو السفلى فى حدود ٥/١ بحر الفتحة (S) . ولا يقل سمك القوس عن h/2 حيث h هى إرتفاع عمود الماء المعرض له السحارة. ويتغير هذا السمك بتغير أبعاد بحر الفتحة (S) . ويمكن أن تكون سحارة المبانى ذات فتحة واحدة أو أكثر كما هو موضح بالشكل (٢-١٦) . كما يمكن أن تبنى سحارات المبانى بقطاع صندوقى من فتحة واحدة أو أكثر كما هو موضح بالشكل (٢-١٦).

٢-٢-٣-٢ سحارات معدنية ذات قطاع دائرى (مواسير)
هذا النوع من السحارات شائع الإستخدام حتى الآن. ويتوقف قطر الماسورة المستخدم على التصميم الهيدروليكى لها. ويراعى ما يلى :
- أن يكون قطر الماسورة أقرب ما يمكن إلى عرض المجرى المائى المراد إمراره مع مراعاة إختيار الأنسب من الأقطار أو عدد المواسير لتفادى حدوث دوامات ما أمكن.
- إذا كان قطر المواسير أقل من وحتى ٠,٧٠ متر فتوضع المواسير على المناسيب المقررة فوق التربة مباشرة دون عمل أساسات خرسانية تحتها. أما المواسير ذات القطر الأكبر من ذلك فيتم عمل أساسات خرسانية تحتها إما منفصلة على شكل كراسى على مسافات مناسبة (لتفادى زيادة عزم الإنحناء بالمواسير) أو أساسات خرسانية مستمرة. وفى حالة الأساسات الخرسانية المستمرة فإن سمك هذه الأساسات يجب ألا يقل عن $(\frac{D}{5}+0.30)$ متر حيث D قطر الماسورة بالمتر.
- إذا كانت طبيعة التربة رملية فيكفى وضع المواسير أيا كان قطرها خلال الرمل حيث أنه يصون مادة صلب المواسير.
- يمكن وضع السحارة المعدنية أفقية أو مائلة طبقا للمناسيب والإحتياجات بالموقع. وفى حالة السحارة المائلة فإنه طبقا للشكل (٢-١٧) يجب أن تكون أعلى نقطة فى الماسورة (A) على منسوب لا يقل عن ٠,٥٠ متر من منسوب المياه التصميمية. كما أن منسوب مخرج الماسورة عند نقطة (B) يكون مماسا لأعلى فرش حائط المخرج. وفى حالة سحارة ذات جزء مائل وجزء أفقى كما هو موضح بالشكل (٢-١٧) فيجب مراعاة أن تكون النقطة (C) بنهاية الجزء المائل عند إتصاله بالجزء الأفقى أوطى بمقدار لا يقل عن ٠,٥٠ متر من منسوب قاع المجرى المائى وذلك للسماح ببناء التكاسى الدبش بالمونة بقاع المجرى بالإضافة إلى سمك طبقة الدبش للحماية وطبقا لإحتياجات التصميم.

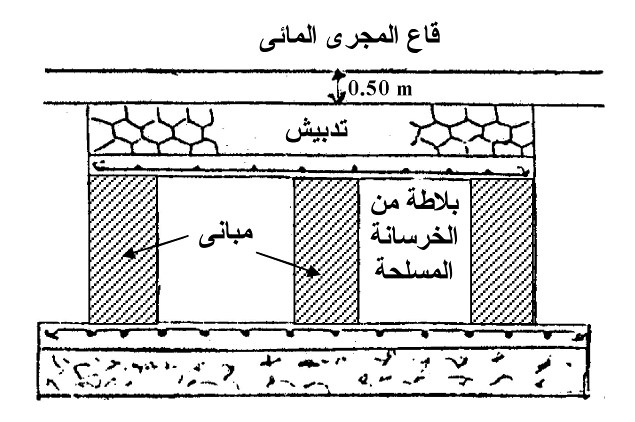
- إذا كـان الفرق بـين منسوبى النقطتين (A), (C) بالشكل (٢-١٧) أقل من ١ متر فتستعمل المواسير المعدنية المستقيمة وإذا زاد عن ذلك تستعمل المواسير المائلة. وفى حالة المواسير المائلة فإنه يمكن إهمـال الفاقد فى الكوع (بين الجزء الأفقى والمائل) إذا كانت زاوية الميل θ على الأفقى أقل من أو تساوى ١٥° (شكل ٢-١٧).
- تنشأ حوائط من المبانـى فـى مداخل ومخارج السحارات المعدنية (المواسير) إذا زادت الأقطار عن ٠,٧٠ متر وتمثل هذه الحوائط درعا ووقاية (حوائط الحماية) Breast Walls للمواسير.
- تنشأ الحوائط عمودية علـى إتجاه تيار المياه. وفى حالة ما إذا كانت الحوائط مرتفعة بشكل ملحوظ فيتم عمل عقود تخفيف حلقية Relief Ring Arches فوق المواسير لحمايتها من الأضرار التى قد تنشأ بسبب وزن الحائط كما هو موضح بالشكل (٢-١٨).
- يمكن الاسترشاد بالأبعاد والمقاسات التالية والمبينة بالشكل (٢-١٨).
- عرض الحائط من أسفل (فوق الفرش) $b = (0.415\ H + 0.05\ h)$
- عرض الحائط من أعلى (على منسوب المسطاح) $b' = (0.165\ H + 0.05\ h)$
- سمك الفرش تحت المواسير $t = (0.4\ D + 0.12\ H)$
- القصص الخلفية تجاه أتربة الردم على أبعاد تدرج كل قصة (٠,١٣ متر) لكل ٠,٥٠ متر إرتفاع .
- إذا كانـت طبـيعة التـربة رخـوة فإنـه لمـنع الإنحـناء فـى المواسـير المعدنـية يـتم طمـرها بالخرسـانة Embedded in Concrete ويسـاعد هذا أيضـا فـى حمايـة المواسير من الصدأ كمـا يسـاعد على مقاومة ضغط المياه داخل المواسير.
- إذا كـان قطـاع السـحارة المعدنـية يـتكون مـن أكثـر مـن ماسـورة فـإن المسـافة البينـية الصـافية بـين ماسورتين متجاورتين تتراوح بين ٠,٥٠ - ٠,٨٠ متر.



سحارة من فتحة واحدة مقوسة من أعلى ومن أسفل

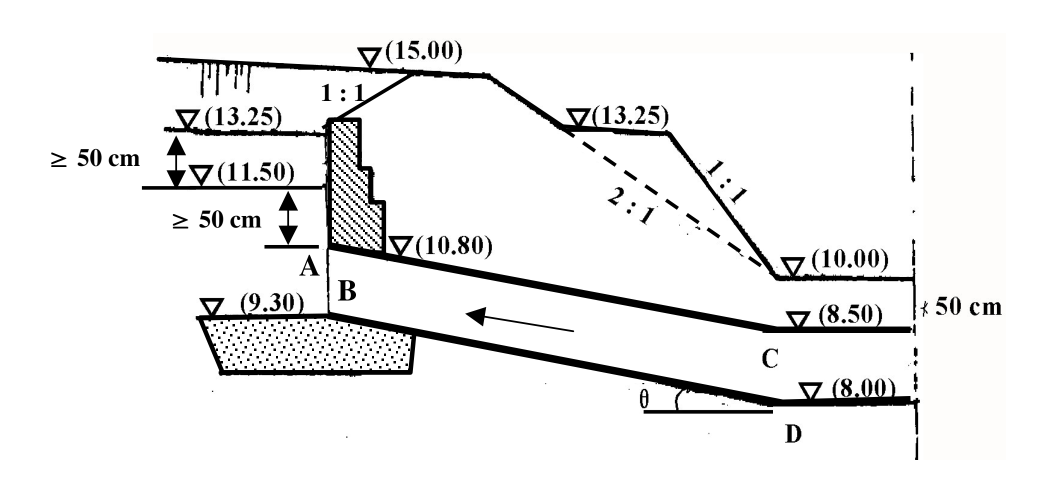


سحارة من ثلاث فتحات مقوسة من أعلى ومن أسفل

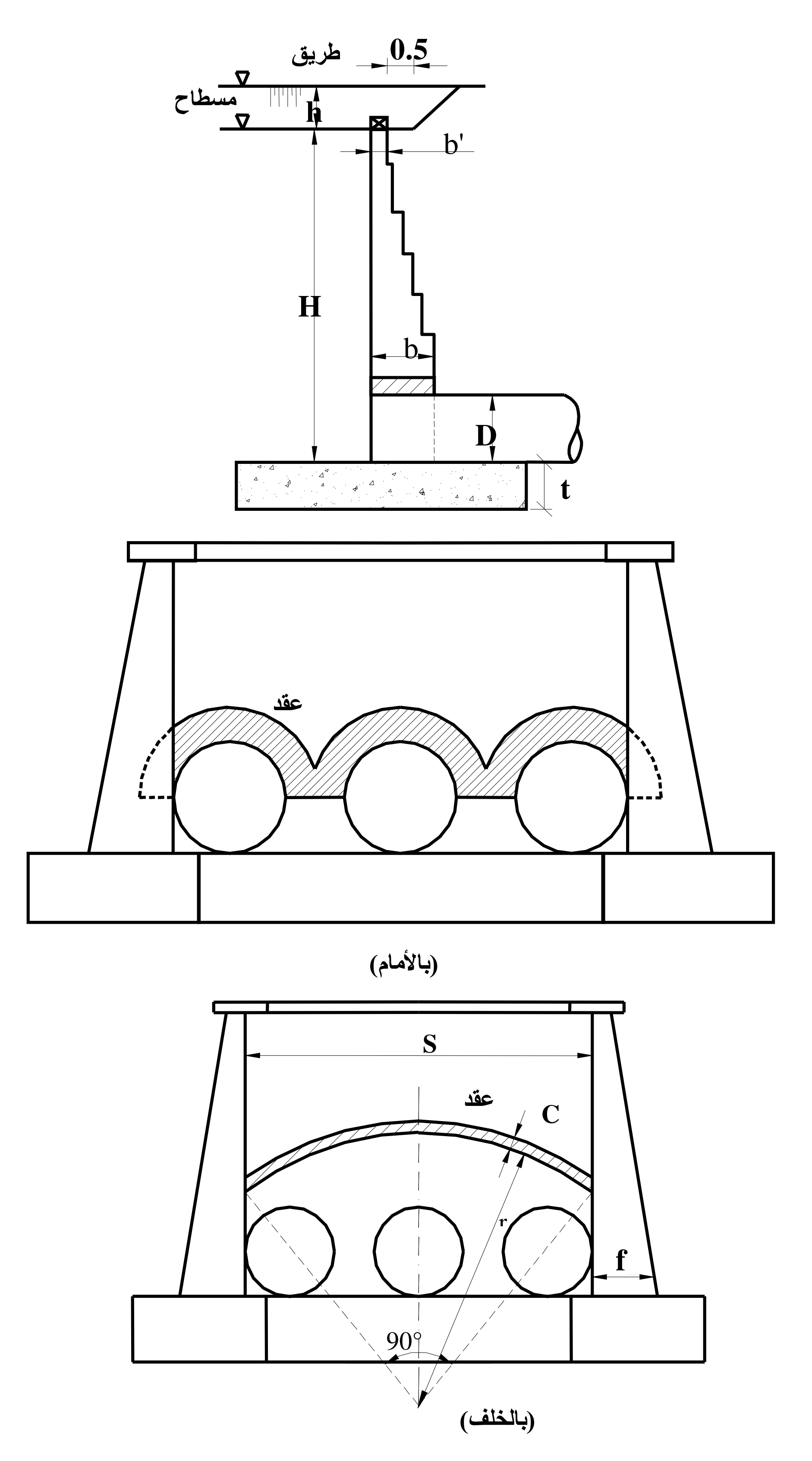


سحارة ذات قطاع صندوقى من فتحتين

شكل (٢-١٦) قطاعات فى سحارات مبانى ذات فتحة واحدة أو أكثر



شكل (٢-١٧) سحارة معدنية (ماسورة) مائلة



(بالخلف)

شكل (٢-١٨) حوائط المباني فى المداخل والمخارج للسحارات المعدنية

٢-٢-٣-٣ سحارات من الخرسانة

يمكن إستخدام سحارات من الخرسانة العادية ذات قطاع دائرى (مواسير) حتى قطر ٠,٦٠ متر وتوضع على قاعدة مستمرة من الخرسانة العادية.

تستخدم مواسير من الخرسانة المسلحة سابقة الصب حتى قطر ٢ متر وبطول يتراوح بين ٢ - ٣ متر كسحارات مع ربط المواسير ببعضها بجلب من الخرسانة المسلحة سابقة الصب وتزود بفواصل التمدد وتدهن بالبيتومين لجعل هذه الفواصل كتيمة للمياه Water Tight .

فى السحارات كبيرة الحجم تستخدم القطاعات الصندوقية من الخرسانة المسلحة التى تصب فى الموقع.

٢-٢-٤ التصميم الهيدروليكى للسحارات

٢-٢-٤-١ فاقد ضغط المياه Head Loss (H_L)

- فاقد ضغط المياه فى شبك الأعشاب أمام المدخل h_{screen} :

يمكن حساب هذا الفاقد من المعادلة التالية :

$$h_{screen} = B\left(\frac{t}{s}\right)^{4/3} \sin\alpha \frac{V_a^2}{2g} \tag{2-18}$$

حيث

V_a = سرعة المياه فى المدخل

B = معامل بدون أبعاد يتوقف على شكل الشبك طبقا للشكل (٢-٤)

t = سمك خوص الشبكة

S = المسافة بين الخوص

θ = زاوية ميل الشبك على الأفقي

g = عجلة الجاذبية الأرضية

- فاقد ضغط المياه بالاحتكاك بجدران السحارة $h_{friction}$:

يحسب هذا الفاقد من المعادلة التالية :

$$h_{friction} = f \frac{L}{m} \frac{V^2}{2g} \tag{2-19}$$

$$f = a\left(1 + \frac{b}{m}\right) \tag{2-20}$$

حيث

m = نصف القطر الهيدروليكى المتوسط = المساحة المبتلة من قطاع السحارة / المحيط المبتل من السحارة

L = طول السحارة

V = سرعة المياه فى السحارة
a, b = معاملان طبقا للجدول (٢-١) حيث تختلف العلاقة بينهما بإختلاف نوع المادة المصنوع منها السحارة

- فاقد ضغط المياه فى المدخل $h_{entrance}$:

$$h_{entrance} = C_1 \text{ x } \frac{V^2}{2g} \qquad (2\text{-}21)$$

حيث
C_1 = ٠,٥٠ فى المداخل ذات القطاع المربع Square Corners
C_1 = ٠,٢٠ فى المداخل المسلوبة Tapering Inlet
C_1 = ٠,٠٥ فى المداخل ذات قطاع على هيئة جرس Bell Mouthed Entrance
V = سرعة المياه فى السحارة

ملاحظة : فى حالة الحوائط المنحنية الملتوية فى المداخل Warped Walls (شكل ٢-١٣) فإن الفاقد فى المدخل يمكن حسابه كما يلى :

$$h_{entrance} = \frac{0.1\,(V^2 - v^2)}{2g} \qquad (2\text{-}22)$$

حيث
v = سرعة المياه المتوسطة فى المجرى المائي

- فاقد ضغط المياه فى المخرج h_{exit} :

$$h_{exit} = C_2 \text{ x } \frac{V^2}{2g} \qquad (2\text{-}23)$$

حيث C_2 معامل يتوقف على شكل المخرج كما هو موضح بالشكل (٢-١٩)

ملاحظة : إذا كانت حوائط المخرج من نوع الحوائط المنحنية الملتوية (شكل ٢-١٣) فإن الفاقد فى المخرج يمكن حسابه كما يلى :

$$h_{exit} = \frac{0.2\,(V^2 - v^2)}{2g} \qquad (2\text{-}24)$$

حيث
V = سرعة المياه فى السحارة
v = سرعة المياه المتوسطة فى المجرى المائي

إذا كان المخرج يزيد فى الإتساع تدريجيا فإن سرعة المياه تقل تباعا ويكون الفاقد فى المخرج كبير ويعتمد ذلك على زاوية الإنفراج للمخرج Angle of Divergence

- فاقد ضغط المياه فى منحنى السحارة h_{bend} :

فى حالة السحارات التى تحتوى على جزء أفقى وجزء مائل فإن الوصلة بين الجزئين يمكن أن تنفذ على شكل منحنى Bend أو كوع Elbow وفى حالة المنحنى فإن الفاقد فى ضغط المياه يمكن أن يحسب كالتالى :

$$h_{bend} = C_3 \text{ x } \frac{V^2}{2g} \text{ x } \frac{\theta}{90} \qquad (2\text{-}25)$$

حيث

v = سرعة المياه فى السحارة

θ = زاوية ميل محور الجزء المائل على الإتجاه الأفقى بالدرجات

ويتوقف المعامل C_3 على النسبة $\frac{r}{R}$ حيث

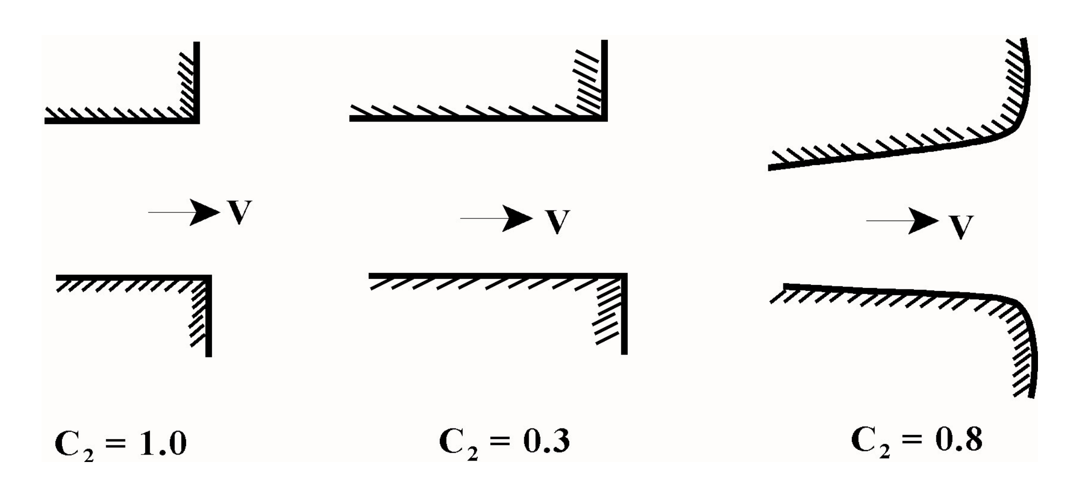
r = نصف قطر القطاع الدائرى للسحارة أو نصف إرتفاع القطاع الصندوقى لها

R = نصف قطر الإنحناء للسحارة كما يتضح من الشكل (٢-٢٠)

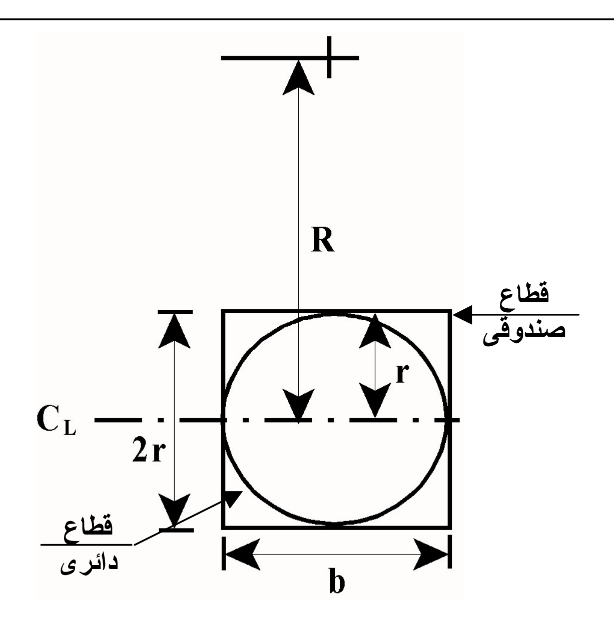
ويمكن حساب المعامل C_3 من الجدول (٢-٢) التالى :

جدول (٢-٢)

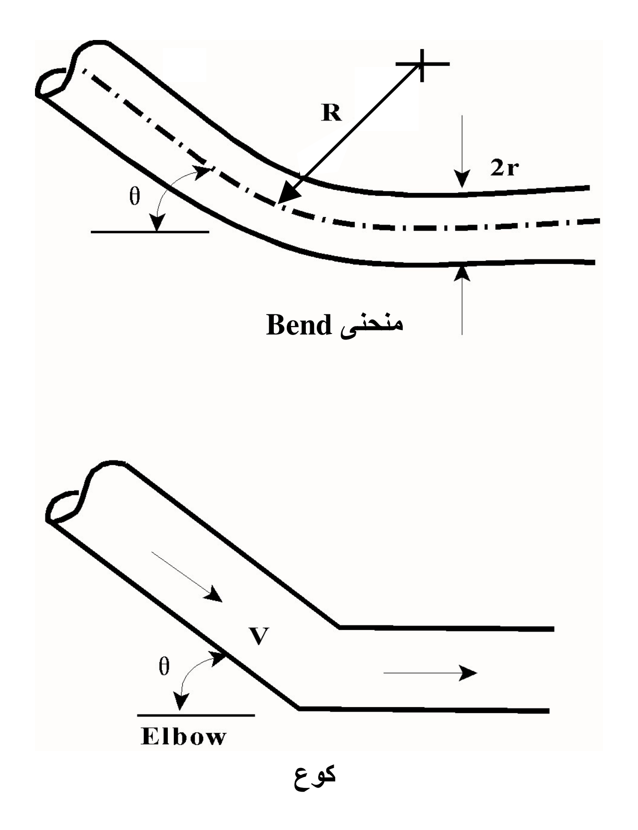
النسبة $\frac{r}{R}$	٠,٢٠	٠,٣٠	٠,٤٠	٠,٥٠	٠,٦٠	٠,٧٠
C_3 للقطاع الدائرى للسحارة	٠,١٤	٠,١٦	٠,٢٠	٠,٣٠	٠,٤٠	٠,٦٦
C_3 للقطاع الصندوقى للسحارة	٠,١٣	٠,١٨	٠,٢٥	٠,٤٠	٠,٦٤	١,٠١



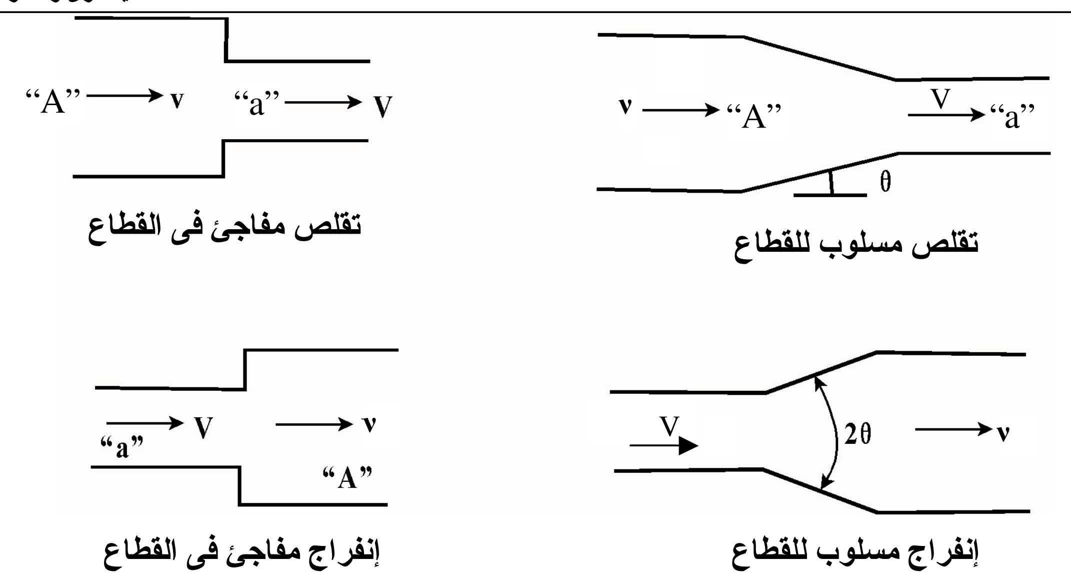
شكل (٢-١٩) المعامل C_2 لحساب الفاقد فى المخرج للسحارات



شكل (٢-٢٠) الفاقد فى منحنى السحارة



شكل (٢-٢١) الفاقد فى كوع السحارة



شكل (٢-٢٢) الفاقد فى السحارة نتيجة تقلص وإنفراج القطاع

- فاقد ضغط المياه فى كوع السحارة h_{elbow} :

فى حالة وجود كوع بين الجزء المائل والجزء الأفقى للسحارة كما هو موضح بالشكل (٢-٢١) فإن الفاقد فى ضغط المياه فى الكوع يحسب كما يلى :

$$h_{elbow} = C_4 \ x \ \frac{V^2}{2g} \qquad (2\text{-}26)$$

$$C_4 = \text{Sin}^2 \frac{\theta}{2} + 2\,\text{Sin}^4 \frac{\theta}{4} \qquad (2\text{-}27)$$

حيث

V = سرعة المياه فى السحارة

θ = زاوية ميل محور الجزء المائل من السحارة على الإتجاه الأفقى بالدرجات

وتتوقف قيمة المعامل C_4 على الزاوية θ طبقا للجدول (٢-٣) التالى :

جدول (٢-٣)

θ^o	٢٠	٤٠	٦٠	٨٠	٩٠
C_4	٠,٠٣	٠,١٤	٠,٣٩	٠,٧٥	١,٠٠

ملحوظة : يفضل تنفيذ المنحنيات بدلا من الأكواع فى السحارات لتقليل الفواقد.

- الفاقد فى ضغط المياه نتيجة تقلص القطاع $h_{contraction}$:
يتم فى بعض الأحيان تقليص قطاع السحارة مما يؤدى إلى زيادة سرعة المياه داخل القطاع الأصغر وينتج عن ذلك فقد فى ضغط المياه داخل السحارة. ويمكن أن يكون هذا التقلص مفاجئا Sudden أو أن يكون التقلص مسلوبا Tapered كما هو موضح بالشكل (٢-٢٢) ويحسب الفاقد نتيجة تقلص القطاع كما يلى :

$$h_{contraction} = C_5 \text{ x } \frac{V^2}{2g} \qquad (2\text{-}28)$$

حيث V = سرعة المياه الأكبر فى قطاع السحارة (السرعة فى القطاع الأصغر بعد التقلص). وتعتمد قيمة المعامل C_5 على النسبة بين مساحة قطاع السحارة بعد التقلص (a) وقبله (A) طبقا للجدول (٢-٤) التالى:

جدول (٢-٤)

a/A	٠,١٠	٠,٢٠	٠,٣٠	٠,٤٠	٠,٥٠	٠,٦٠	٠,٧٠	٠,٨٠	٠,٩٠
C_5	٠,٤٧	٠,٤٣	٠,٣٩	٠,٣٤	٠,٣٠	٠,٢٦	٠,٢١	٠,١٦	٠,٠٨

- الفاقد فى ضغط المياه نتيجة إنفراج القطاع $h_{enlargement}$
يتم في بعض الأحيان زيادة قطاع السحارة Enlargement (إنفراج القطاع) مما يؤدى إلى تقليل سرعة المياه فى السحارة ويؤدى إلى فقد فى ضغط المياه. ويمكن أن يكون هذا الإنفراج مفاجئا أو مسلوبا طبقا للشكل (٢-٢٢) . ويحسب الفاقد فى ضغط المياه نتيجة إنفراج القطاع من المعادلة التالية :

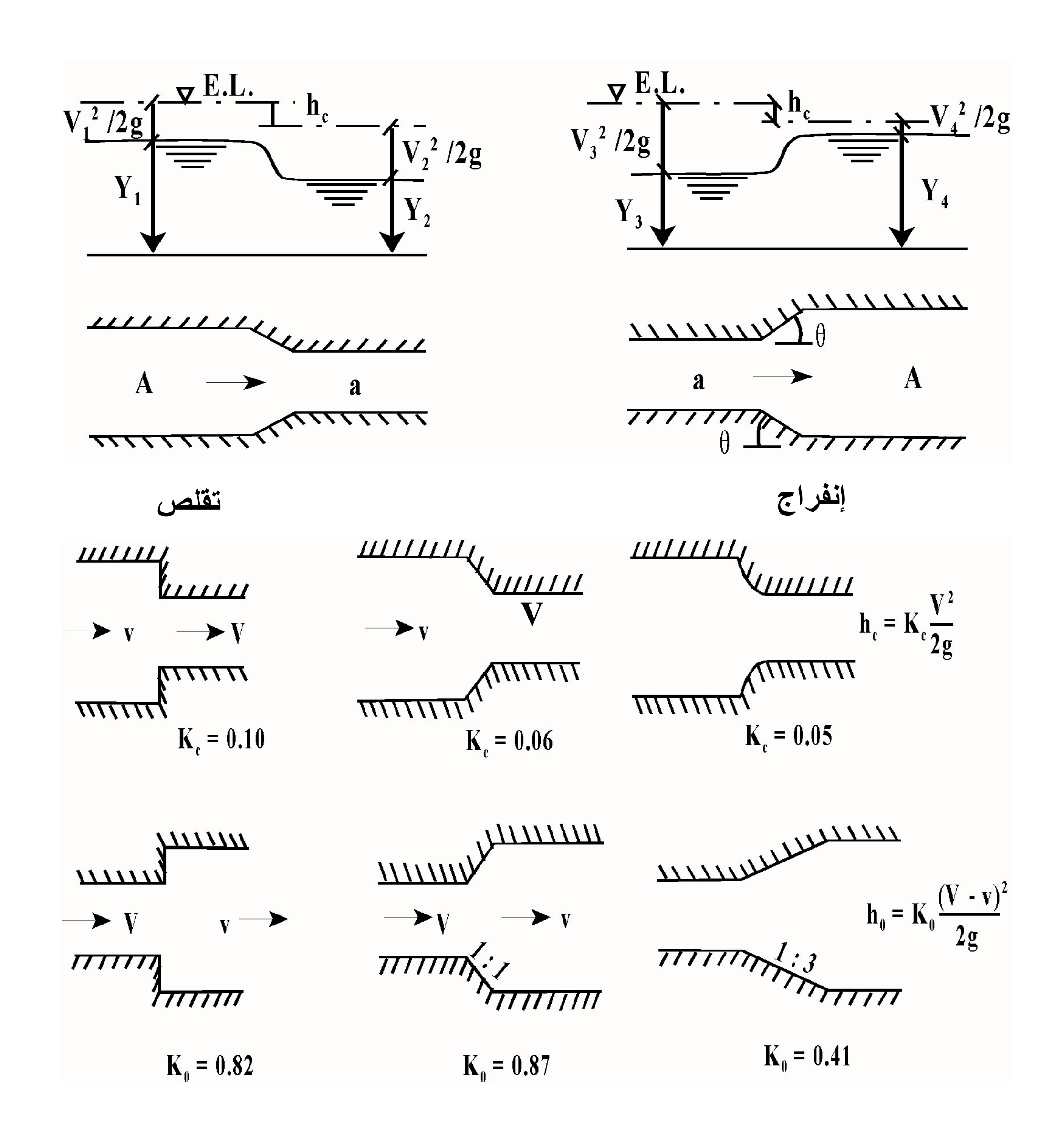
$$h_{enlargement} = [(1 - \frac{a}{A})^2 \text{ Sin } \theta] \frac{V^2}{2g} \qquad (2\text{-}29)$$

حيث
V = السرعة القصوى للمياه فى السحارة
2θ = زاوية الإنفراج Flare Angle
a = مساحة قطاع السحارة قبل الإنفراج
A = مساحة قطاع السحارة بعد الإنفراج

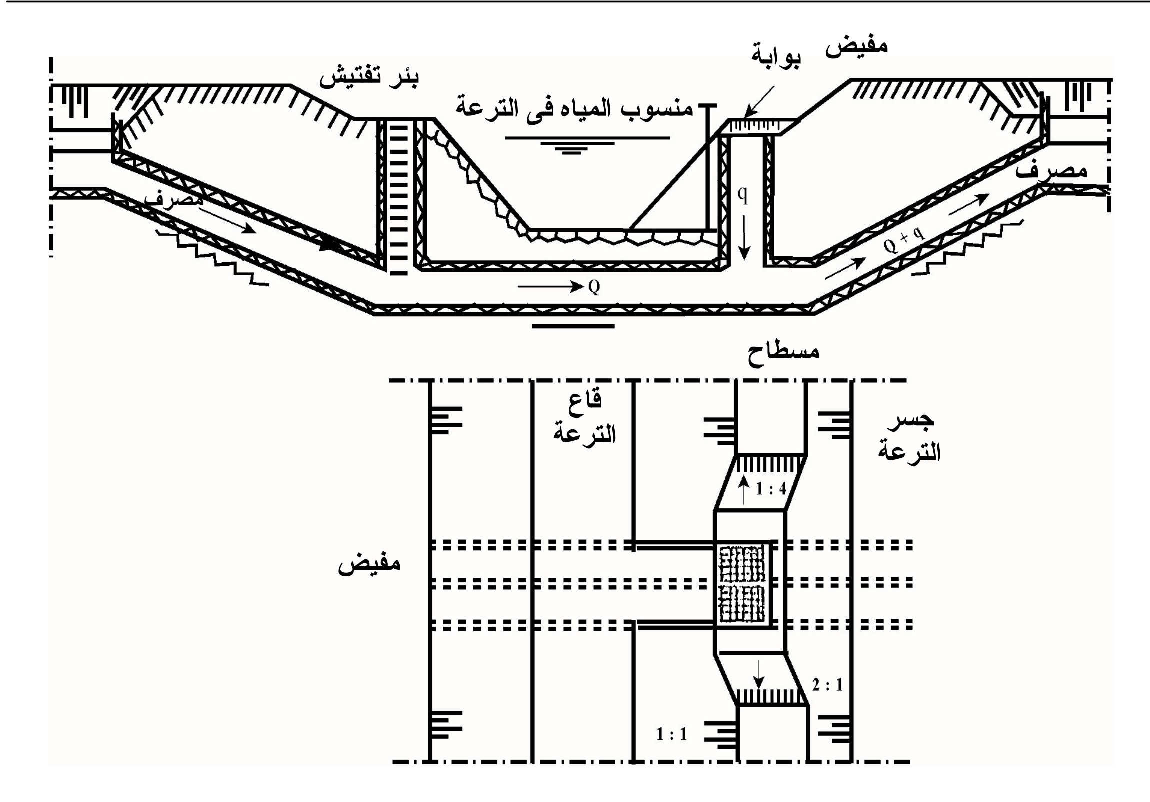
- فاقد ضغط المياه فى الانتقالات بين الحوائط Transition between Wing Walls
يتغير قطاع المجرى فى المدخل من شكل شبه المنحرف إلى شكل المستطيل من خلال حوائط الأجنحة وكذلك فى المخرج يتغير القطاع من شكل المستطيل إلى شكل شبه المنحرف. وفى كلا الحالتين تحدث الفواقد فى ضغط المياه نتيجة التقلص والإنفراج فى المجرى المفتوح بسطح مائى حر.
ويمكن حساب هذه الفواقد طبقا للشكل (٢-٢٣) .

وبذلك يكون الفاقد الكلى لضغط المياه فى السحارة H_L هو مجموع مركبات الفواقد السابق ذكرها.

يجب مراعاة عدم وجود ترسبات فى المواسير أو فى القطاعات الصندوقية للسحارات بحيث تتراوح سرعة المياه داخل السحارة من ٢ - ٣ مرات السرعة فى المجرى (أى V = 2 to 3 v) ولا تقل عن ١ متر / ث .



شكل (٢-٢٣) حساب فاقد ضغط المياه فى الانتقالات بين الحوائط



شكل (٢-٢٤) سحارة مزودة بمفيض لإمكان تفريغ الترعة للصيانة

فى بعض الحالات الخاصة التى تتطلب تصريف مياه من الترعة بغرض تفريغها لصيانتها خلال مدة معينة عن طريق السحارة وصرفها إلى المجرى الأسفل (المصرف) فتزود السحارة بمفيض لهذا الغرض Intermediate Escape كما هو موضح بالشكل (٢-٢٤) .

فى بعض الحالات يطلب التحكم فى التصرفات داخل السحارة وذلك باستعمال أخشاب الغما Regulating Timbers أو البوابات الحديدية Gates لتتحرك داخل الدروندات المجهزة بحوائط مبانى المدخل كما هو موضح بالشكل (٢-٢٥).

٢-٢-٤-٢ الطمو (العلو أو الصاعد) Heading Up

يرتفع منسوب الأمام بالمجرى المائى بعد إنشاء السحارة لإعتراض المنشأ لمساحة المقطع المائى بينما يبقى المجرى المائى بالخلف كما هو أى بنفس منسوبه قبل إنشاء السحارة. والفرق بين منسوبى المياه بالأمام والخلف يسمى بالطمو ويمثل مجموع الفواقد فى ضغط المياه H_L (شكل ٢-٦) .

قيمة الطمو المسموح به فى السحارة لا يزيد عن ٢٠ سم .

يجب ألا تزيد سرعة المياه فى السحارة فى حالة أقصى تصرف عن (٢ إلى ٣) مرات سرعة المياه فى المجرى المائى على ألا تزيد عن ٢ متر / ث .

٢-٢-٥ التصميم الإنشائى للسحارة

٢-٢-٥-١ حالات التحميل

طبقا للشكل (٢-٢٦) فإن حالات التحميل التى يجب إعتبارها عند تصميم السحارات هى الحالات التالية :

الحالة الأولى

السحارة فارغة من المياه والترعة (المجرى المائي) مملوءة بالمياه حسب ما يوضحه القطاعان (I –I) ، (II – II) بالشكل (٢-٢٦) . والأحمال المؤثرة على كل من القطاعين هى التالية :

قطاع (I – I) : الحمل الحى .L.L ، الضغط الخارجى للمياه والتربة ، الحمل الميت الخارجى .D.L .
قطاع (II – II) : الضغط الخارجى للمياه والتربة ، الحمل الميت الخارجي.

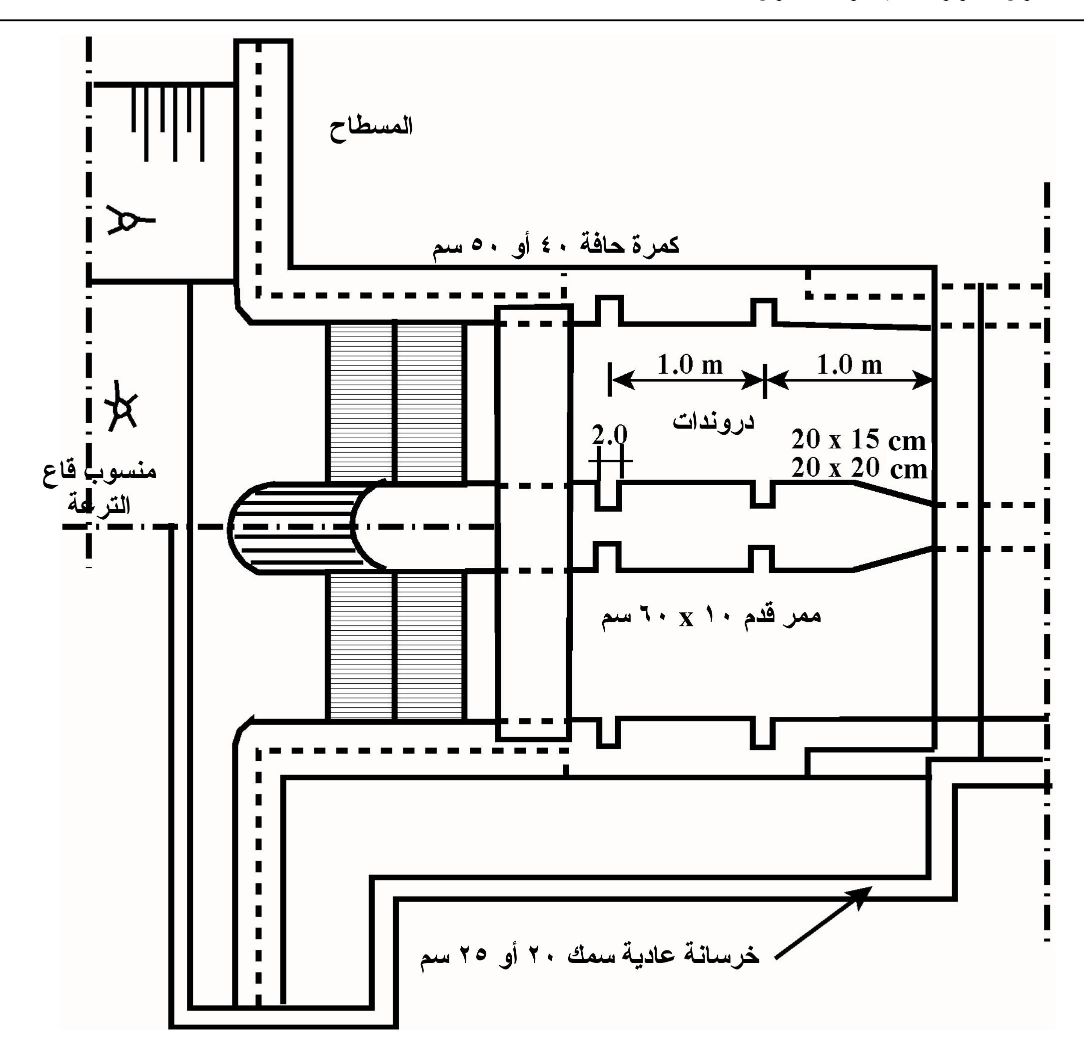
الحالة الثانية

السحارة مملوءة بالمياه والترعة (المجرى المائي) فارغة حسب ما يوضحه القطاعان (III – III) ، (IV – IV) بالشكل (٢-٢٦). والأحمال المؤثرة على كل من القطاعين هى التالية :

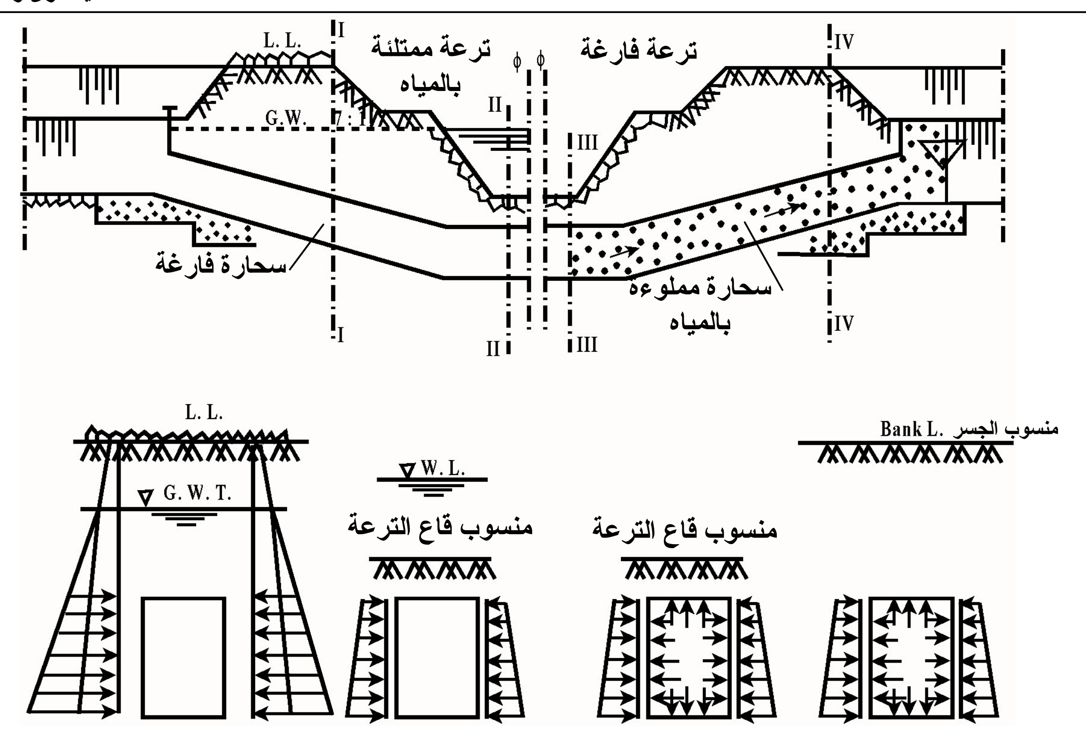
قطاع (III – III) : ضغط التربة الجافة من الخارج ، ضغط المياه داخل السحارة ، الحمل الميت الخارجى.
قطاع (IV – IV) : مثل قطاع (III – III) مع زيادة الضغط الخارجى والحمل الميت لزيادة إرتفاع التربة أعلى السحارة.

ويلاحظ أن القطاعين (I – I) ، (III – III) هما القطاعان الحرجان للتصميم للسحارات.

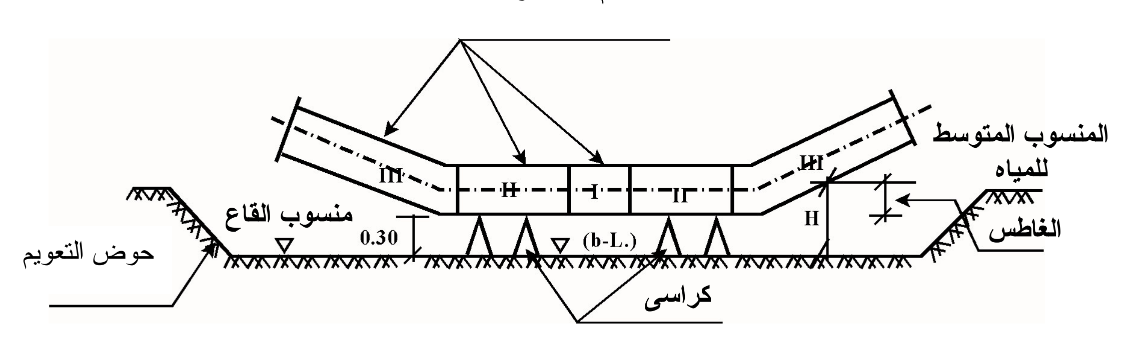
ملحوظة : يراعى إضافة أحمال الزلازل إلى حالات التحميل المذكورة فى حالة السحارات الكبيرة والهامة وتؤخذ هذه الأحمال طبقا للكود المصرى للأحمال.
كما يلاحظ أن حالات التحميل المذكورة هى حالات عامة سواء كان قطاع السحارة صندوقيا أو دائريا أو خلاف ذلك.



شكل (٢-٢٥) سحارة مزودة ببوابات للتحكم فى التصرفات داخل السحارة



شكل (٢-٢٦) حالات التحميل للسحارة



شكل (٢-٢٧) تعويم السحارات

٢-٢-٥-٢ التصميم المبدئى للسحارات ذات القطاع الدائرى (مواسير) من الخرسانة العادية

يتم حساب سمك جدار ماسورة السحارة من الخرسانة العادية (t) من المعادلة التالية :

$$t = \frac{Dh}{2f} \qquad (2\text{-}30)$$

حيث

D = القطر الداخلى للماسورة

h = إرتفاع عمود الماء فى الأمام (U.S.) ويقاس من منسوب سطح الماء فى المجرى المائى وحتى مركز الماسورة

f = إجهاد الشد المسموح به فى الخرسانة العادية

٢-٢-٥-٣ التصميم المبدئى للسحارات المعدنية ذات القطاع الدائرى (مواسير)

يتم حساب سمك جدار ماسورة السحارة المعدنية (t) من المعادلة التالية :

$$t = \frac{D\,h}{2\,f_s} \qquad (2\text{-}31)$$

حيث

D = القطر الداخلى للماسورة

h = إرتفاع عمود الماء فى الأمام (U.S.) ويقاس من منسوب سطح الماء فى المجرى المائى وحتى مركز الماسورة

f_s = إجهاد الشد المسموح به فى الحديد (ويراعى تخفيضه نظرا للعمر الدائم للماسورة فى الماء)

وعادة ما يزاد السمك المحسوب من المعادلة (٢-٣١) بمقدار من ١ إلى ٢ مم لمقابلة إحتمال صدأ الماسورة.

ويراعى إضافة أعصاب تقوية Stiffners عند القطاعات التى تلتقى عندها قطع المواسير المكونة للسحارة.

ويتراوح السمك العملى للمواسير من الحديد الصلب من ١٠ إلى ١٥ مم ويمكن استرشاديا حساب هذا السمك من العلاقة :

$$t = 0.35\,(D + 1) \qquad (2\text{-}32)$$

حيث

t = السمك بوحدات سم

D = القطر الداخلى للماسورة بوحدات المتر

٢-٢-٥-٤ تصميم السحارات الخرسانية المسلحة
يتوقف هذا التصميم على طبيعة الأساسات المحمولة عليها السحارة والتى يمكن أن تكون على شكل كراسى منفصلة من الخرسانة العادية أو على شكل أساسات مستمرة من الخرسانة.

فى حالة السحارة الماسورة المرتكزة على كراسى من الخرسانة العادية على مسافات فإنها تصمم بإعتبارها كمرة مستمرة غير محددة أستاتيكيا تحت تأثير الأحمال السابق ذكرها فى البند (٢-٢-٥-١).
وفى هذه الحالة يجب التفرقة بين وضعين مختلفين عند حساب عزوم الإنحناء القصوى فى الماسورة.
١- إذا كان عمق أتربة الردم فوق مركز الماسورة أقل من ٣ متر فإنه يمكن إهمال عزوم الإنحناء الطولية الناتجة عن وزن أتربة الردم فوق الماسورة.
٢- إذا كان عمق أتربة الردم فوق مركز الماسورة أكبر من ٣ متر فإنه لإهمال عزوم الإنحناء الطولية الناتجة عن وزن أتربة الردم فوق الماسورة يلزم أن يكون قطر الماسورة مساويا ٠,٢ من عمق أتربة الردم فوق مركز الماسورة.

تتعرض القطاعات للسحارات من الخرسانة المسلحة إلى حالات التحميل المذكورة فى البند (٢-٢-٥-١) سواء كانت ذات فتحة واحدة أو أكثر.

٢-٢-٥-٥ القوى الداخلية فى قطاعات السحارات وتصميم القطاعات
يتم حساب القوى الداخلية فى قطاعات السحارات سواء كانت قطاعات دائرية (مواسير) أو قطاعات صندوقية بفتحة واحدة أو أكثر وأيا كان نوع المادة المستخدمة فى السحارة تحت تأثير حالات التحميل السابق ذكرها فى البند (٢-٢-٥-١) وذلك بإستخدام طرق التحليل الإنشائى أو بإستخدام برامج على الحاسب الآلي. ويتم تصميم هذه القطاعات بعد ذلك طبقا لنوع المادة المستخدمة فى السحارة (خرسانة - حديد - ....) بإستخدام الأكواد المصرية للتصميم أو الأكواد العالمية فى حالة عدم وجود كود مصرى للتصميم.

٢-٢-٦ تعويم وتغويص السحارات المعدنية تحت المجارى المائية المتقاطعة

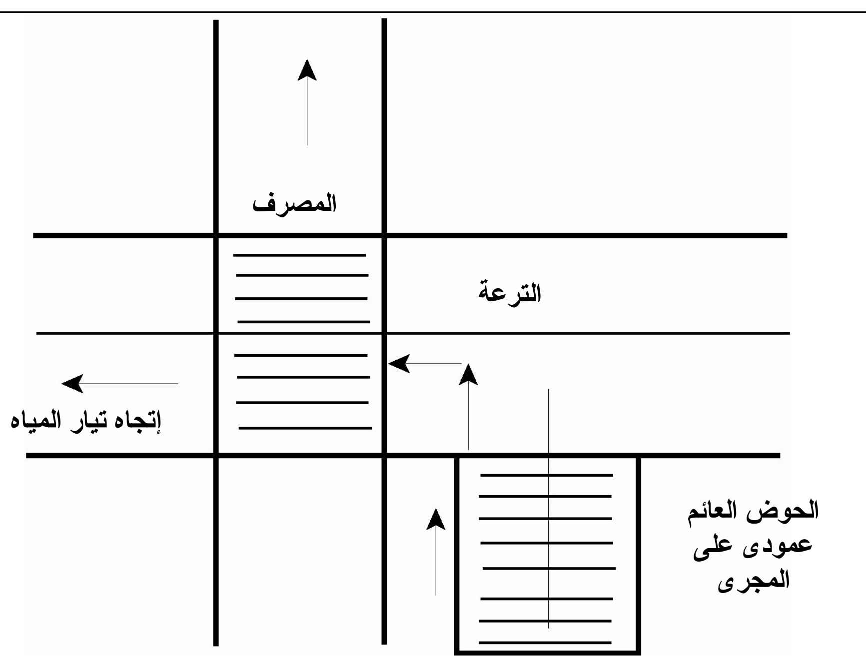
٢-٢-٦-١ بيانات عن السحارة
يجب تجميع البيانات التالية عن السحارة المراد تعويمها أو تغويصها :
- الطول الإجمالى للسحارة شاملا الأجزاء المستقيمة والأجزاء المائلة والمدخل والمخرج تحت الجسور (بالمتر).
- الوزن الكلى للسحارة شاملا الوزن العائم ووزن المدخل والمخرج (بالطن). ويراعى زيادة هذا الوزن بنسبة ٣ % من وزن الأجزاء المطلوب تعويمها وتغويصها كمعامل أمان.
- القطر الداخلى للمواسير (بالمتر).
- مساحة المقطع الداخلى للمواسير (بالمتر المربع).
- سمك جدار المواسير (بالسنتيمتر).
- مساحة المقطع الخارجى للمواسير (بالمتر المربع).
- معامل القطاع Section Modulus ($Z = I / y$) (بالمتر المكعب).
- رتبة الحديد المستخدم فى تصنيع السحارة.
- الإجهاد الأقصى للشد فى الحديد (كجم / سم^{٢}).
- الإجهاد المسموح به للمواسير تحت الماء (كجم / سم^{٢}).
- أبعاد حوض التعويم (الطول x عرض القطاع المائي) (بالمتر).

- منسوب قاع حوض التعويم.
- أبعاد حوض التغويص (الطول x العرض) (بالمتر) Sinking Basin Dimensions .
- منسوب قاع حوض التغويص.
- المنسوب المتوسط للمياه (W.L.) فى المجرى المطلوب التغويص به.

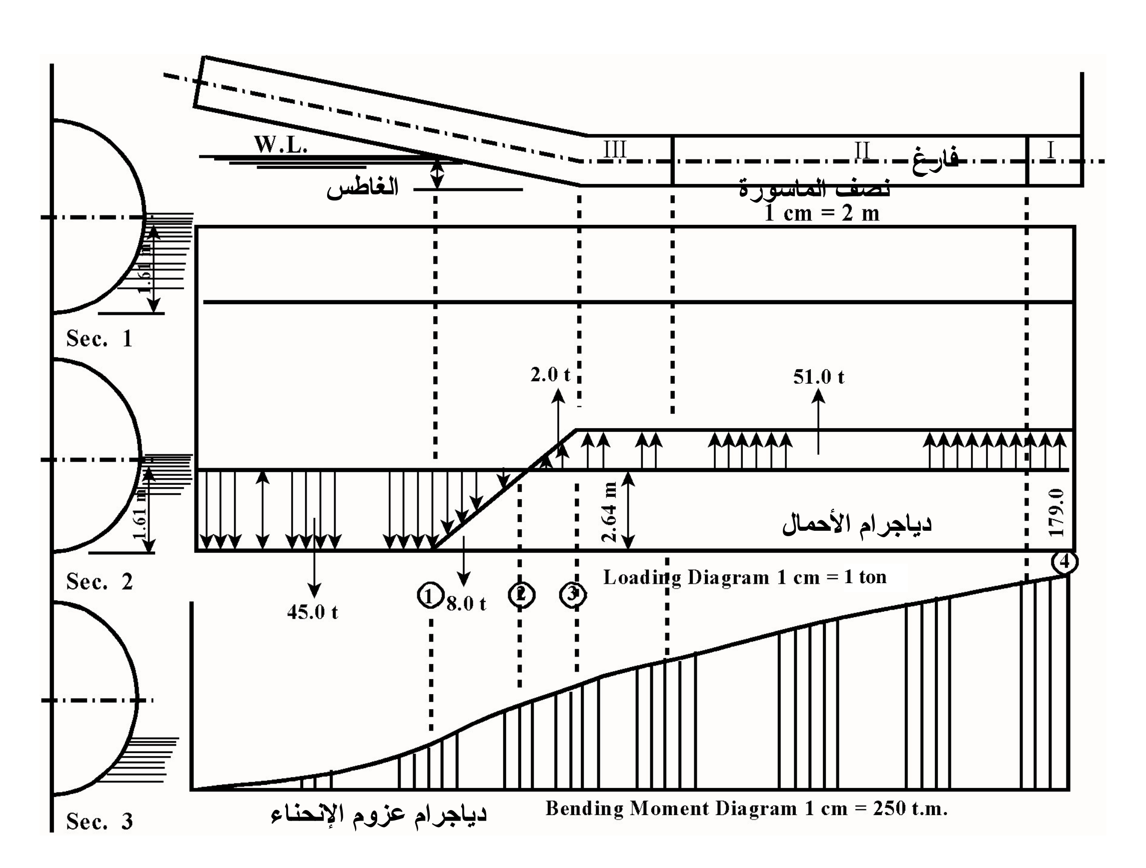
٢-٢-٦-٢ مرحلة التعويم

الغرض من الحسابات التصميمية لمرحلة التعويم هو جعل مواسير السحارة تعوم بأمان وذلك إما بإضافة عوامات جانبية أو بإستخدام شدادات للمحافظة على الإتزان أثناء السحب والتغويص. وهذا يتطلب الآتى حسب ما هو موضح بالشكل (٢-٢٧) :

- ألا يزيد غاطس السحارة Draught عن الحد المسموح به طبقا للحسابات التصميمية.
- إجراء المحاولات المختلفة لإيجاد الصيغة المناسبة لتعويم مواسير السحارة مع مراعاة الآتى :
- منسوب قاع حوض التعويم.
- المنسوب المتوسط للمياه فى المجرى المائى (H) .
- الخلوص بين أسفل جسم السحارة وقاع حوض التعويم لا يقل عن ٠,٣٠ متر تقريبا.
- عمق الجزء الغاطس من السحارة.
- أن تكون مساحة الحوض كافية لإستيعاب السحارة بكامل مشتملاتها بالإضافة إلى وجود مساحات كافية لدخول المعدات والقاطرة ومناورتها بأمان فى الحوض.
- يختار موقع حوض الإنشاء والتعويم ليكون متعامدا مع المجرى المراد التغويص به وعلى أن يكون أقرب ما يمكن لموقع التغويص وبحيث يتم إنشاء السحارة بداخله وتحمل على كراسى بإرتفاعات تفى بالمتطلبات الإنشائية للتعويم وفى أوضاع تمكن جسم السحارة من التعويم للوصول إلى موقع التغويص دون دورانها المفاجئ Sudden Tilting كما هو موضح بالشكل (٢-٢٨) .
- يتم حساب منسوب قاع حفر الحوض ليفى بمتطلبات عمق الغاطس من جسم السحارة والذى يفى بإتزان السحارة أثناء التعويم كما يعطى خلوصا كافيا ليتحرر جسم السحارة من فوق الكراسى الحاملة له ودون إعاقة وحتى يمكن سحب الكراسى أسفل جسم السحارة بسهوله بعد تعويمها.
- يتم حساب الإجهادات الناشئة بجسم السحارة فى قطاعاتها المختلفة والتأكد من عدم تعديها للإجهاد الأقصى المسموح به لنوع الحديد المصنع منه السحارة والمغمور دائما فى الماء.
- يتم إختيار بعض مواسير جسم السحارة وتقسيمها بطبب داخلية وتحويلها إلى غرف مقفلة Compartments لها محابس جانبية تسمح بدخول الماء وخروج الهواء من داخلها أثناء عمل المحاولات الحسابية لإستنتاج مقدار الغاطس من جسم السحارة والإجهادات الناشئة عنه فى جسم السحارة والدثر (الديفرامات) العرضية الرابطة وذلك عن طريق عمل محاولات بإدخال الماء جزئيا إلى بعض الغرف بالتبادل وحساب الإجهادات الناشئة فى كل محاولة على حدة كما هو موضح بالنموذج المبين فى شكل (٢-٢٩).
- يتم عمل مقارنة لنتائج المحاولات المختلفة وإختيار أنسبها من ناحية الإجهادات ومقدار الغاطس الذى يتلاءم مع عمق المياه المتاح بمجرى موقع العمل ومناسيب قيعان حوض الإنشاء والتعويم وكذا المجرى حتى وصول السحارة إلى موقع التغويص.



شكل (٢-٢٨) موقع حوض الإنشاء والتعويم بالنسبة للمجرى المراد التغويص به



شكل (٢-٢٩) إحدى محاولات تعويم السحارة - السحارة بكاملها فارغة من المياه

٢-٢-٦-٣ مرحلة التغويص Sinking State

يجب عمل الحسابات التصميمية اللازمة لعملية تغويص السحارة بغرض التحقق من أن مواسير السحارة تغوص تدريجيا وبأمان. ولذلك يلزم التحقق من تجنب الآتي:

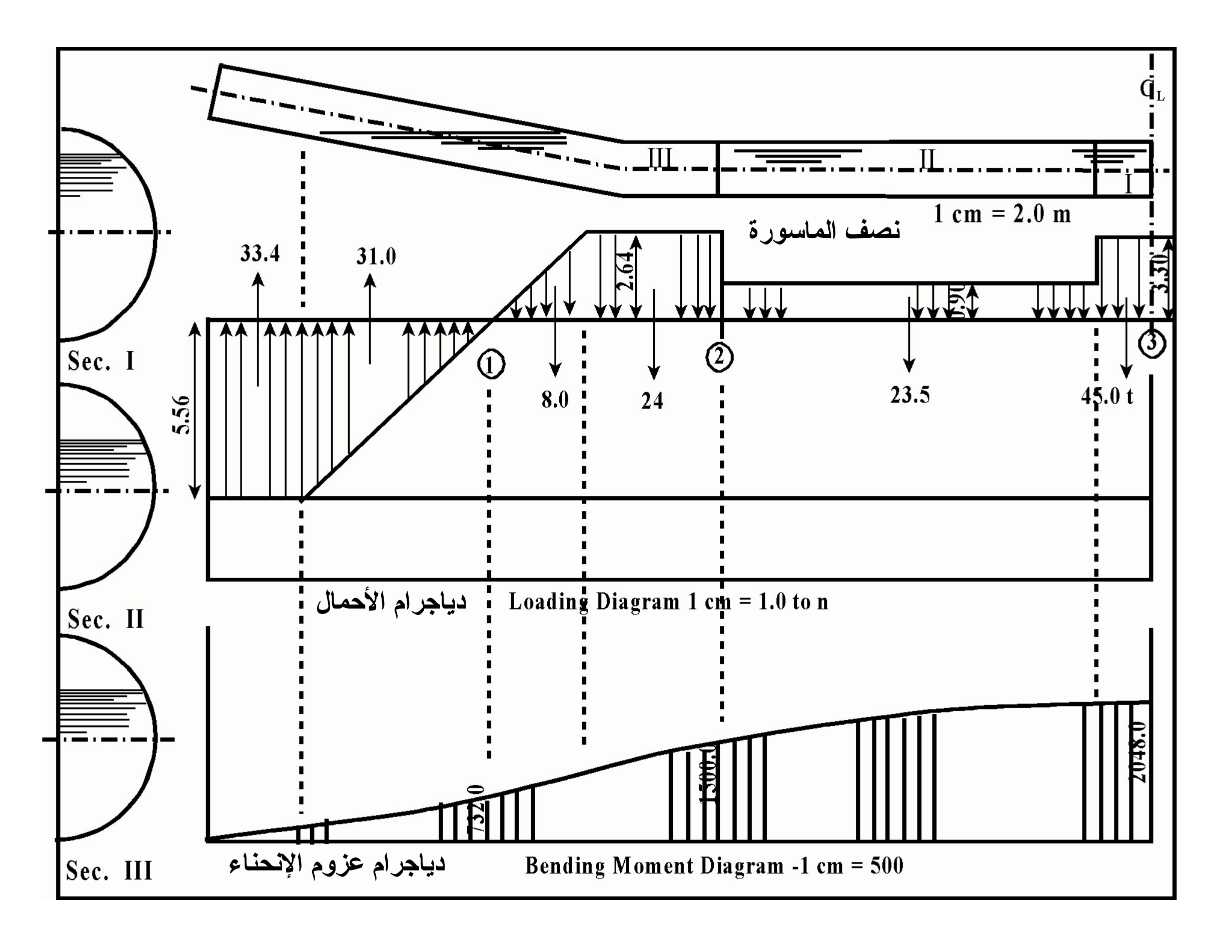
- الإجهادات العالية التى تتعدى الإجهاد المسموح به فى جسم السحارة.
- الميل المفاجئ للسحارة بمعنى أنه يجب حفظها أفقيا أثناء التغويص.
- السقوط المفاجئ للسحارة بمعنى أنه يجب تغويصها تدريجيا.

يتم تدبير كميات المواد التى تلزم للردم فوق جسم السحارة فور تغويصها مع تحديد نوعها بحيث تحقق ثبات جسم السحارة وإتزانها. وهذه المواد يجب أن تكون متوفرة بالموقع قبل بدء عملية التعويم والسحب والتغويص.

يبدأ العمل فى تغويص السحارة بعد سحبها إلى موقعها وربطها بالحبال من أركانها الأربعة للتحقق من تطابق محاورها ثم يتم فتح محابس دخول المياه للغرف لتبدأ فى الغوص. وفى هذه المرحلة يتم مراقبة إتزان جسم السحارة بحيث يتم التحكم فى ذلك بالسيطرة على معدل فتح المحابس ودخول المياه للغرف لتجنب حدوث ميل فى أى من الإتجاهين الطولى والعرضى وضمان وصول السحارة إلى موقعها الصحيح.

تتبع خطوات العمل التالية بعد عملية التغويص مباشرة :

- يتم قفل محابس دخول المياه وخروج الهواء وتطبيبها بالكامل.
- يبدأ فى الردم فوق المواسير فور تغويصها وبالسمك الكافى لثبات جسم السحارة بموقعها النهائى بالمجرى.
- يبدأ فى إزالة الطبب الداخلية لجعل مواسير السحارة تسمح بمرور المياه من خلالها بكامل طولها ودون إعاقة.
- تعمل المحاولات المختلفة لإيجاد الصيغة المناسبة لتغويص مواسير السحارة بهدوء وأمان مع حساب الإجهادات فى جسم السحارة فى قطاعاتها المختلفة والتأكد من إتزانها فى الوضع الأفقى فى كل محاولة على حدة كما هو موضح بالنموذج المبين فى شكل (٢-٣٠).
- يتم عمل مقارنة بين نتائج المحاولات المختلفة وإختيار أنسبها من ناحية الإجهادات فى قطاعات السحارة والإتزان الأفقى لها.



شكل (٢-٣٠) إحدى محاولات تغويص السحارة

٢-٣ البدالات Aqueducts

٢-٣-١ تعريف

البدالة هى منشأ الغرض منه تمرير مياه مجرى مائى معين فوق مجرى مائى أخر متقاطع معه. شكل (٢-٣١).

٢-٣-٢ المجال ومواصفات عامة

فى حالة البدالات ذات البحور الصغيرة التى لا تستلزم تغيير أرانيك المجارى المارة تحتها يكون الخلوص Clearance بين منسوب الراسم السفلى للبدالة أو الراسم السفلى للجمالون الحامل للبدالة - إن وجد - وأعلى منسوب للمياه المارة تحت البدالة لا يقل عن ٣٠ سم وبحيث لا يؤثر على تدفق المياه بالمجرى أسفل البدالة.

البدالات ذات البحور الكبيرة تزود بدعامات Supports بالمجرى أسفلها ويفضل ألا تقل هذه الدعامات عن أثنين وتكون من الحديد الصلب أو المبانى أو الخرسانة المسلحة أو الخوازيق البريمية.

٢-٣-٣ أنماط البدالات

٢-٣-٣-١ بدالات مبانى Masonry Aqueducts
نموذج هذا النمط من البدالات موضح بالشكل (٢-٣٢).

٢-٣-٣-٢ بدالات من الحديد الصلب
ويكون هذا النمط من البدالات مفتوحا أو مغلقا كما هو موضح بالشكل (٢-٣٣).

٢-٣-٣-٣ بدالات خرسانية مسلحة
ويوضح الشكل (٢-٣٤) نماذج لهذا النمط من البدالات.

٢-٣-٣-٤ بدالات بلاستيكية
ويصنع هذا النمط من البدالات من البولى فينيل كلوريد (.P.V.C) أو البولى أثيلين (.P.E) ويستخدم فى الأجزاء من البدالات التى تنشأ تحت جسور المجارى المائية.

٢-٣-٤ التصميم الهيدروليكى للبدالات

٢-٣-٤-١ فاقد ضغط المياه Head Loss (H_L)
فاقد ضغط المياه فى شبك الأعشاب أمام المدخل (إن وجد) h_{screen}
ويحسب هذا الفاقد من المعادلتين (٢-١) ، (٢-٢) وشكل (٢-٤)

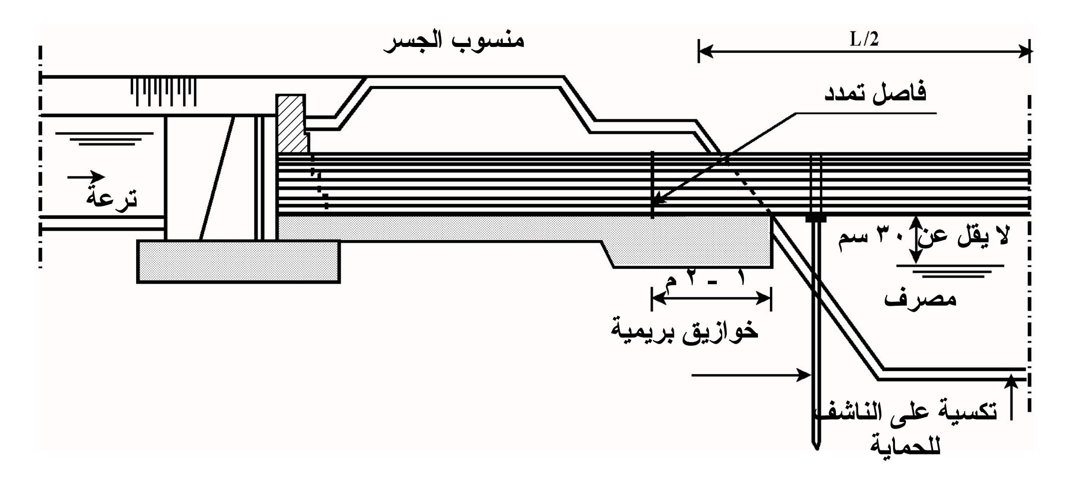
فاقد ضغط المياه فى المدخل $h_{entrance}$
ويحسب هذا الفاقد من المعادلة (٢-٣) والشكل (٢-٥)

فاقد ضغط المياه بالاحتكاك بحوائط وجدران البدالة $h_{friction}$
ويحسب هذا الفاقد من المعادلة (٢-٤) ، ولحساب قيمة $C_{friction}$ فى هذه المعادلة :
- فى حالة البدالات المواسير (قطاع دائري) تطبق المعادلة (٢-٥).
- فى حالة البدالات ذات القطاع الصندوقى تطبق المعادلة (٢-٦) والجدول (٢-١).

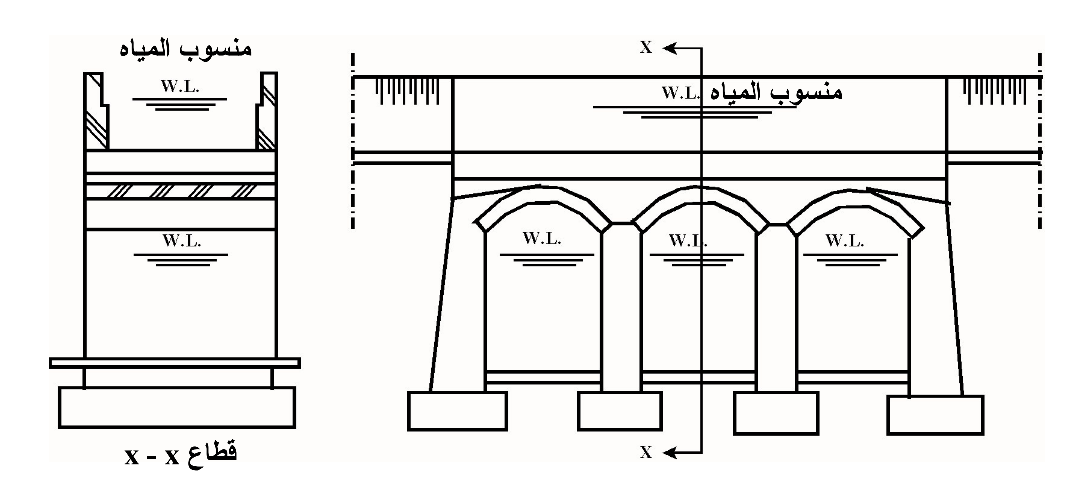
ويلاحظ أن الفاقد بالاحتكاك فى حوائط وجدران البدالة يمثل الفاقد الرئيسى لضغط المياه فى البدالة خاصة إذا كان طول البدالة كبيرا بشكل ملحوظ.
فاقد المياه فى المخرج h_{exit}
ويحسب هذا الفاقد من المعادلة (٢-٧)

وبذلك يكون الفاقد الكلى لضغط المياه فى البدالة (H_L) هو مجموع مركبات الفواقد السابق ذكرها ويحسب بإضافة هذه المركبات كما هو مبين بالمعادلة (٢-٨).

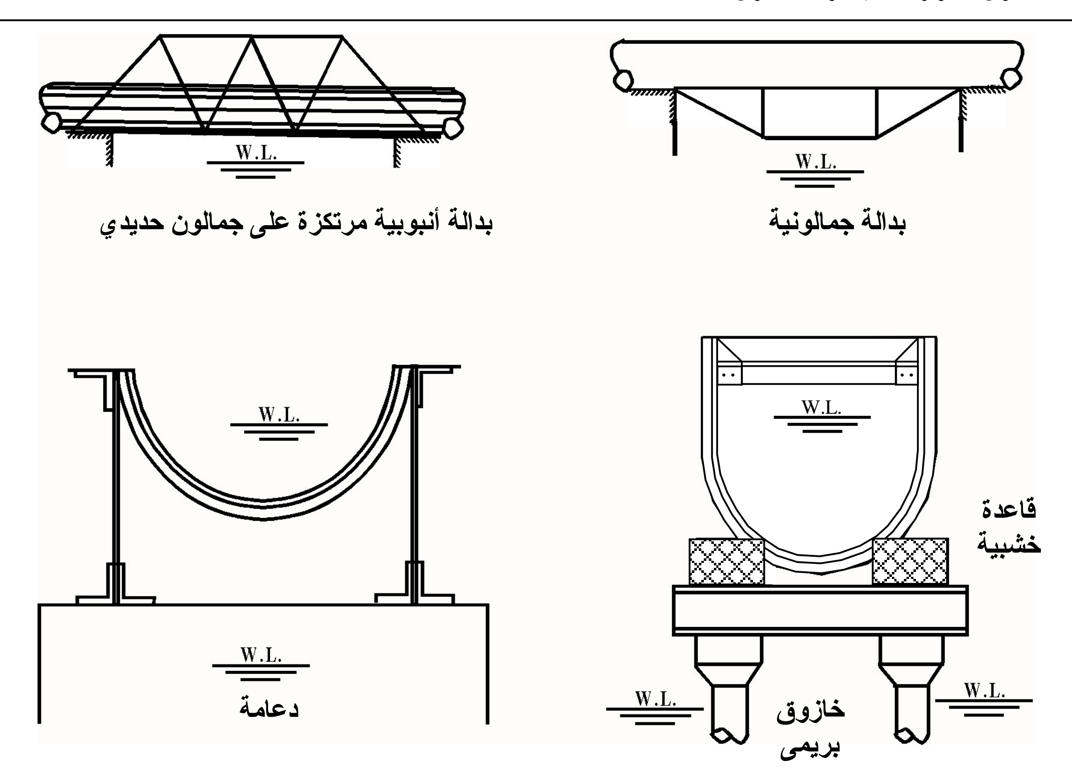
ويلاحظ أنه يمكن الحصول على أقل فاقد فى البدالة إذا كان مدخل البدالة مستديرا ويضيق تدريجيا ومخرج البدالة مستديرا ويتسع تدريجيا.



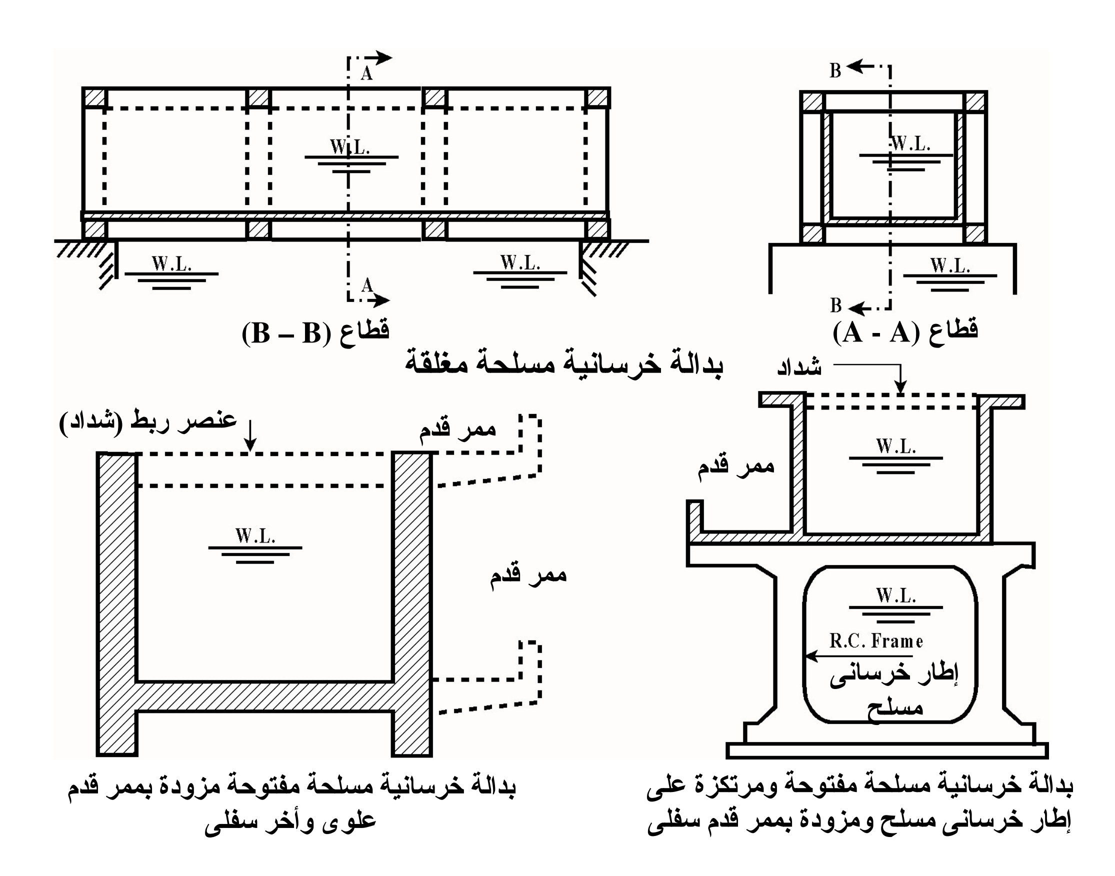
شكل (٢-٣١) بدالة أنبوبية



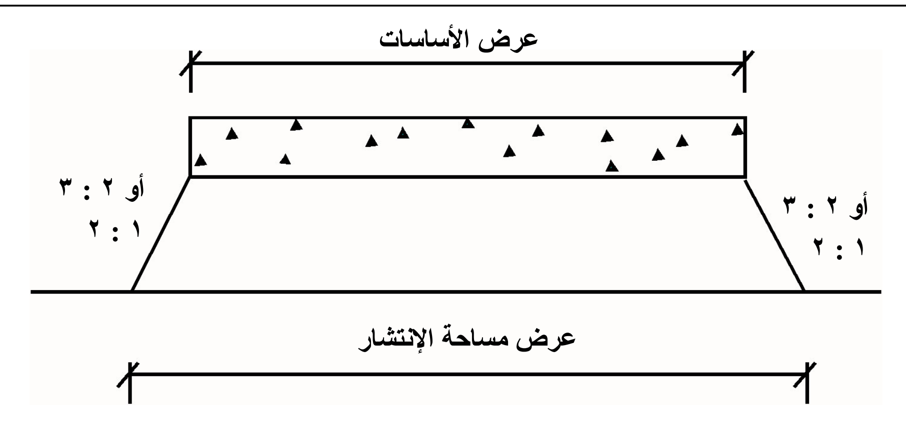
شكل (٢-٣٢) بدالة مبانى



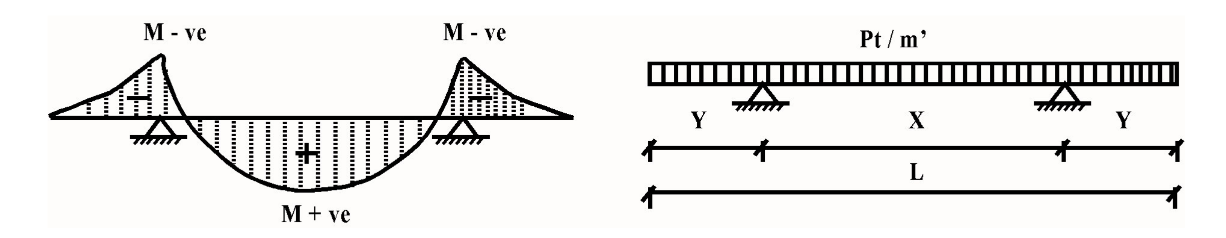
شكل (٢-٣٣) نماذج لبدالات من الحديد الصلب



شكل (٢-٣٤) نماذج لبدالات من الخرسانة المسلحة



شكل (٢-٣٥) مساحة الإنتشار تحت أساسات البدالة



شكل (٢-٣٦) تصميم البدالة الخرسانية المسلحة فى الإتجاه الطولى

٢-٣-٤-٢ الطمو (العلو أو الصاعد) Heading Up

يحدث بعد إنشاء البدالة إرتفاع للمياه أمام مدخلها نتيجة إعتراضها للقطاع المائى للمجرى ويكون الفرق بين منسوب المياه بالأمام (U.S.W.L.) بعد إرتفاعها ومنسوب المياه بالخلف (D.S.W.L.) يمثل الطمو (شكل ٢-٦).

قيمة الطمو المسموح به فى البدالة فى حدود ٥ - ١٠ سم ويجب ألا يزيد عن ذلك.

يجب ألا تزيد سرعة المياه داخل البدالة فى حالة أقصى تصرف عن ٢ - ٣ مرات سرعة المياه المتوسطة فى المجرى على ألا تزيد عن ٢ متر / ث .

يمكن حساب مساحة القطاع المائى للبدالة إذا كانت ذات قطاع دائرى (مواسير) أو ذات قطاع صندوقى بإستخدام المعادلتين (٢-٩) ، (٢-١٠) على الترتيب.

٢-٣-٥ التصميم الإنشائى للبدالة

٢-٣-٥-١ البدالات المبانى

تصمم أجزاء البدالات المبانـى الواقعة أسفل جسور المجارى المائية بإعتبارها برابخ Culverts وإذا كـان مقطعهـا كمـا هـو مبين بالشـــكل (٢-٣٢) فإنهـا تصمــم بإعتبارها كبـــارى مقوســـة (عقود) Arch Bridges .

وتصمم الأجزاء من البدالات المبانى الواقعة فوق المجارى المائية بإعتبارها كبارى محمولة على أكتاف أو دعامات. والأحمال الواقعة عليها هى التالية :

- الحمل الميت ويشمل وزن جسم البدالة ووزن المياه داخلها.
- الحمل الحى .L.L (إن وجد) وذلك إذا كان هناك مشاية قدم أو كوبرى مع البدالة.
- ضغط الرياح على الأجزاء الظاهرة.
- أحمال الزلازل فى البدالات الكبيرة والهامة وتؤخذ هذه الأحمال طبقا للكود المصرى للأحمال.

لحساب الإجهادات تحت الأكتاف والدعامات للبدالات المبانـى فإنـه يجب الأخذ فـى الإعتبار عـرض الأساسات مع تكوين مساحة إنتشار تحتها تحدد بخط مائل حسب عمق التربة السليمة تحت الأساسات ويتوقف ميل هذا الخط على نوعية التربة فى موقع الأساسات (شكل ٢-٣٥).

٢-٣-٥-٢ البدالات الخرسانية المسلحة

تتميز البدالات الخرسانية المسلحة بإستخدامها فـى البحور الكبيرة كما تستخدم أيضا لأى علاقة مطلوبة بين العمق والعرض فى البدالات الصندوقية.

تصمم البدالات الخرسانية المسلحة فى الإتجاه الطولى للبدالة بإعتبارها كمرة مزودة بعدد ٢ كابولى على الجانبين كما هو موضح بالشكل (٢-٣٦). ويتم الحصول علـى التصميم الأمثل فـى هذا الإتجاه إذا تم مراعاة أن يكون أقصى عزم موجب بالكمرة مساويا لأقصى عزم سالب. ويتحقق هذا عندما يكون $(x = 0.586\ L)$ ، $(y = 0.207\ L)$ تحت تأثير الحمل الموزع.

تصمم البدالات الخرسانية المسلحة فى الإتجاه العرضى بإعتبار الحالتين التاليتين :

أ- أن البدالة بها مياه ذات سطح حر Free Water Surface (أى أن البدالة ليست مملوءة بالمياه بكامل قطاعها) ويتم تحديد دياجرامات الأحمال والقوى الداخلية بالقطاعات المختلفة للبدالة.

ب- أن البدالة مملوءة بالمياه بكامل مقطعها وتؤثر ضغوط المياه على كامل القطاع من الداخل. ومن واقع دياجرامات ضغوط المياه والقوى الداخلية يتم تصميم القطاعات المختلفة للبدالة.

٢-٣-٥-٣ البدالات ذات القطاع الدائرى (مواسير) من الخرسانة العادية سابقة الصب

يتم حساب سمك الخرسانة العادية من المعادلة (٢-٣٠).

٢-٣-٥-٤ البدالات ذات القطاع الدائرى (مواسير) من الحديد الصلب

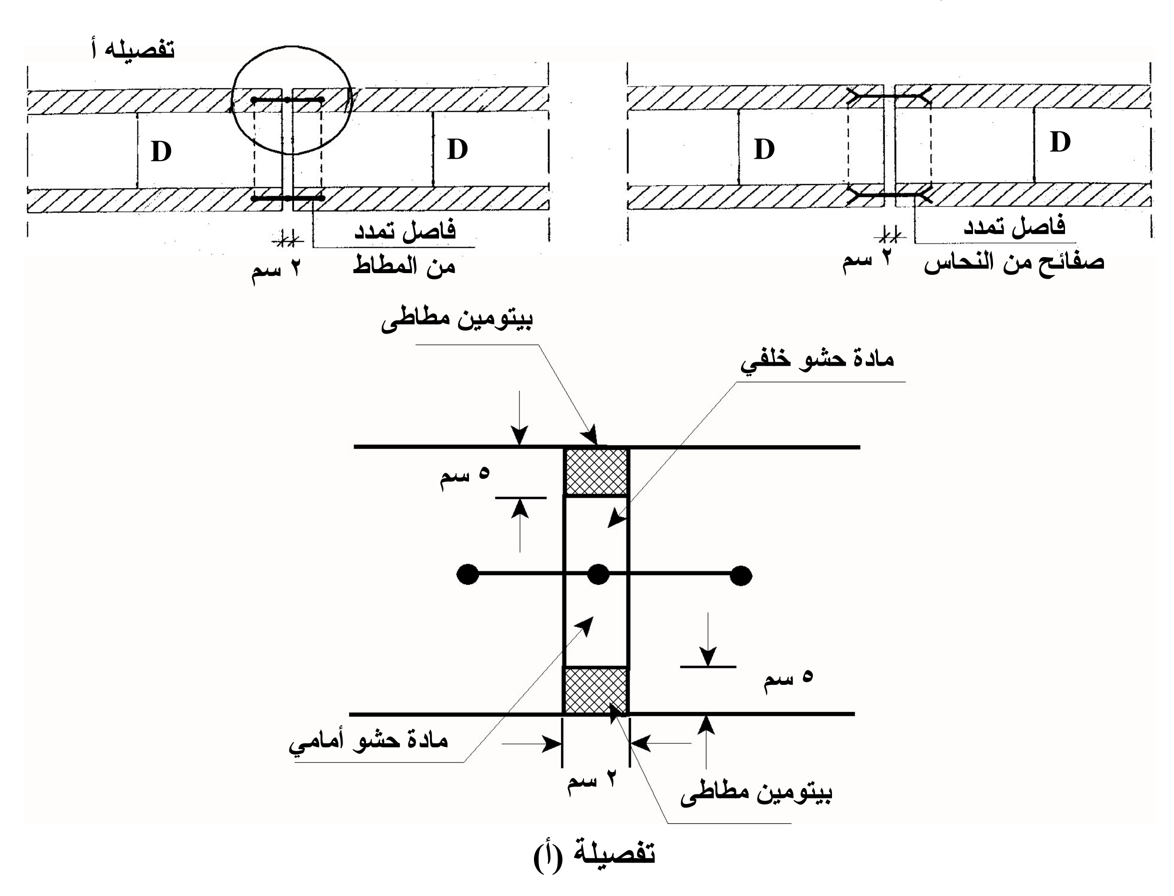
يتم حساب سمك قطاع السحارة من المعادلة (٢-٣١).

٢-٣-٦ الفواصل فى البدالات Joints

تنفذ فواصل الإنشاء أو الهبوط Construction or Settlement Joints بين جزئى البدالة تحت جسرى المجرى المائى وطرفى البدالة فوق المجرى. وتنفذ فواصل الإنشاء مثل فواصل التمدد Expansion Joints . وتعمل الفواصل من صفائح النحاس أو من المطاط وتملا بالبيتومين كما هو موضح بالشكل (٢-٣٧) .

كما توضع هذه الفواصل فى حالة وجود إختلاف ظاهر بين الأحمال أو لتلافى الشروخ فى جسم البدالة نتيجة التمدد والإنكماش.

ويرجع إلى الكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة بشأن الفواصل وأماكنها والمسافات بينها والإحتياطيات الواجب إتخاذها بشأنها.



تفصيلة (أ)

شكل (٢-٣٧) فواصل التمدد فى البدالات

٢-٤ المراجع

1. Aisenbrey, A.J., Hayes, R.B., Warren, H.J., Winsett, D.L. and Young, R.B. (1978), “Design of Small Canal Structures”, U.S. Bureau of Reclamation, water Resources Publications, Englewood, Colorado.

2. El-Kateb, M.H. (1984), “Irrigation Design I: Escapes, Culverts, Syphons and Aqueducts, Class Notes, Faculty of Engin., Cairo University.

3. Mays, L.W. (1999), “Hydraulic Design Handbook, McGraw Hill Book Company, NewYork, U.S.A.

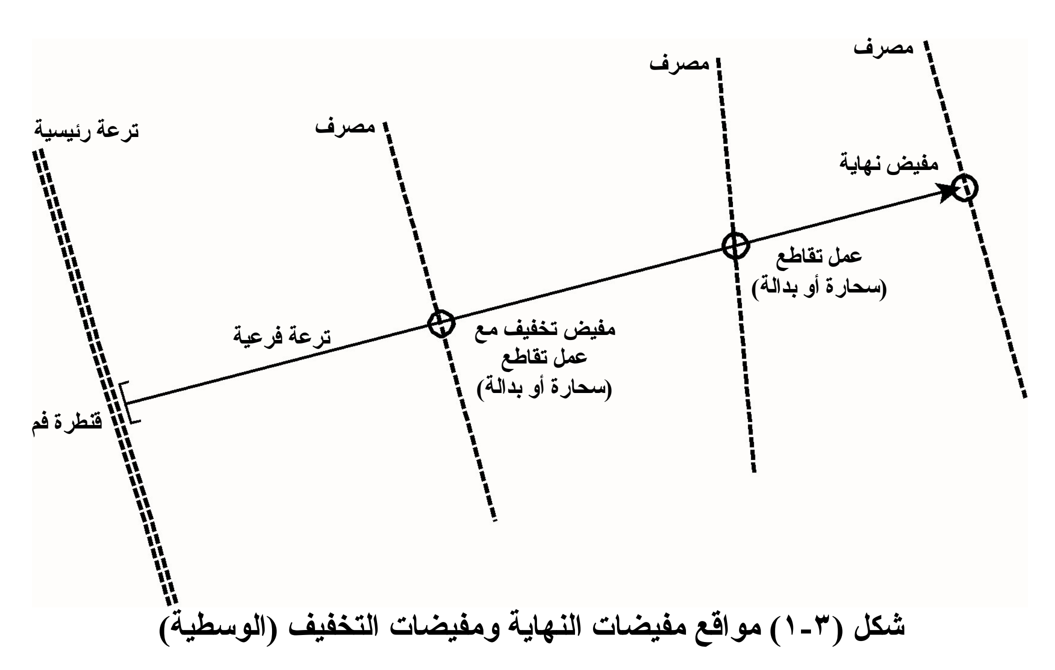
4. Normann, J.M., Hough talen, R.J. and Johnson, W.J. (1985), “Hydraulic Design of Highway Culverts, Hydraulic Design series No..5, Federal Highway Administration, US Department of Transportation, McLean, VA, U.S.A.

الباب الثالث
المفيضات والمصبات Escapes and Outlets

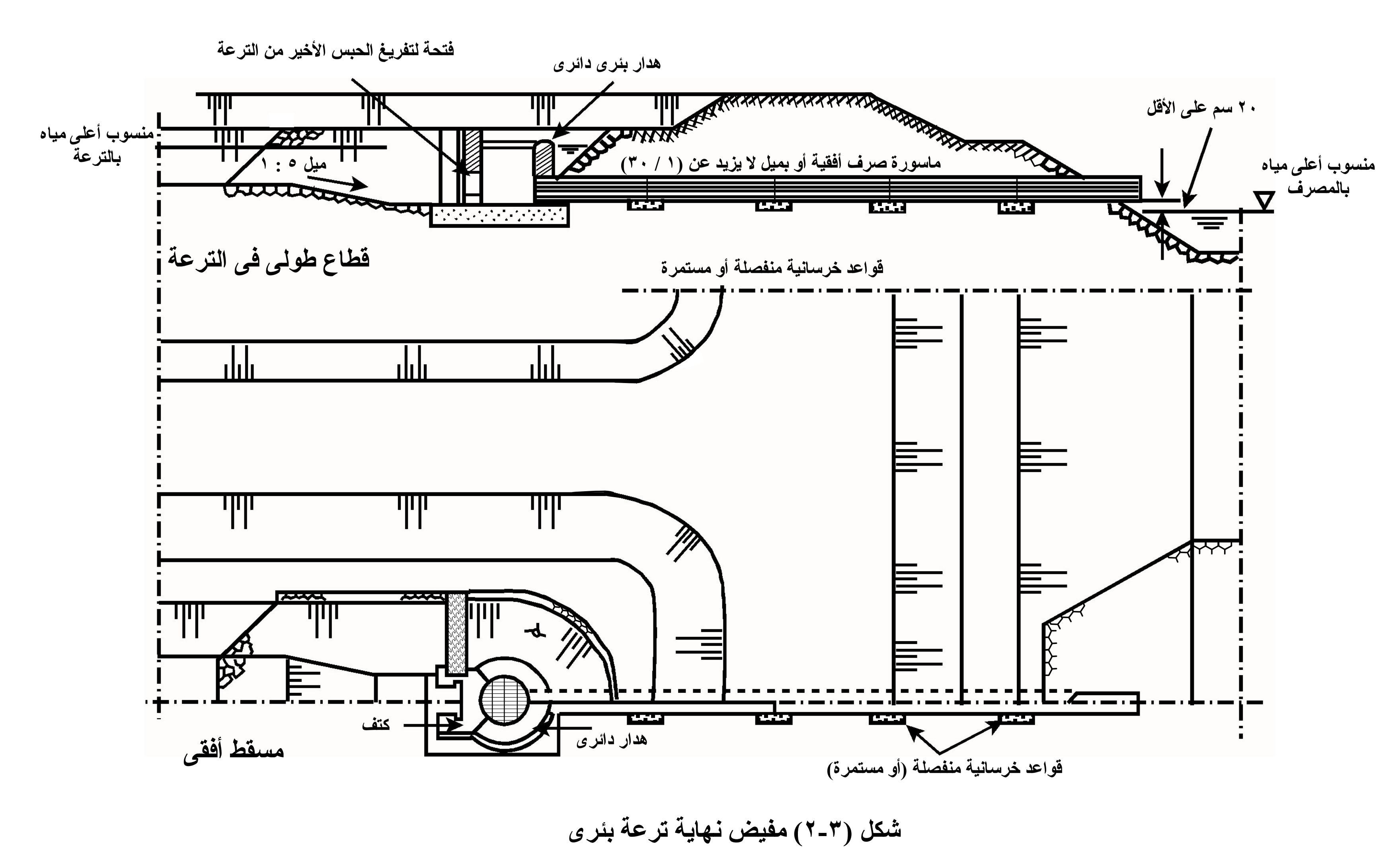
٣-١ عام
المفيض هو منشأ مائى يعمل على تخفيف إزدحامات المياه فى الترع عند أعمال تقاطعها مع المصارف فى وجود (السحارات أو البدالات) أو بغرض تهريب كمية معينة من المياه فى الأحباس الأخيرة من الترع إلى المصارف أو لتفريغ المياه تماما وذلك لإتمام أعمال الصيانة الدورية لها. وتنقسم منشآت المفيض حسب موقعها على الترع وكما هو موضح بالشكل (٣-١) إلى قسمين رئيسيين :
- مفيض نهاية Tail escape .
- مفيض تخفيف وسطى Intermediate escape .

وتنشأ المفيضات كذلك لصرف المياه الزائدة التى لا يمكن تخزينها أمام السدود عندما تتعرض هذه السدود إلى تصرفات أكبر من تلك التى أنشئت من أجلها وبذلك فإن فائض المياه يمر من خلال مفيض السد إلى مجرى النهر أو الوادى خلف السد. وتعتبر مفيضات السدود على جانب كبير من الأهمية إذ تعزى معظم إنهيارات السدود (خاصة الترابية والركامية) إلى أخطاء فى تصميم أو تنفيذ أعمال المفيض. وعند تحديد تصرفات المياه التى تصمم عليها مفيضات السدود يجب دراسة هيدرولوجية النهر عند موقع السد وتقييم هيدروجرافات التصرفات لأزمنة وفترات رجوع مختلفة حسب الوارد فى الباب السادس (البنود المتعلقة بهيدرولوجية السدود).

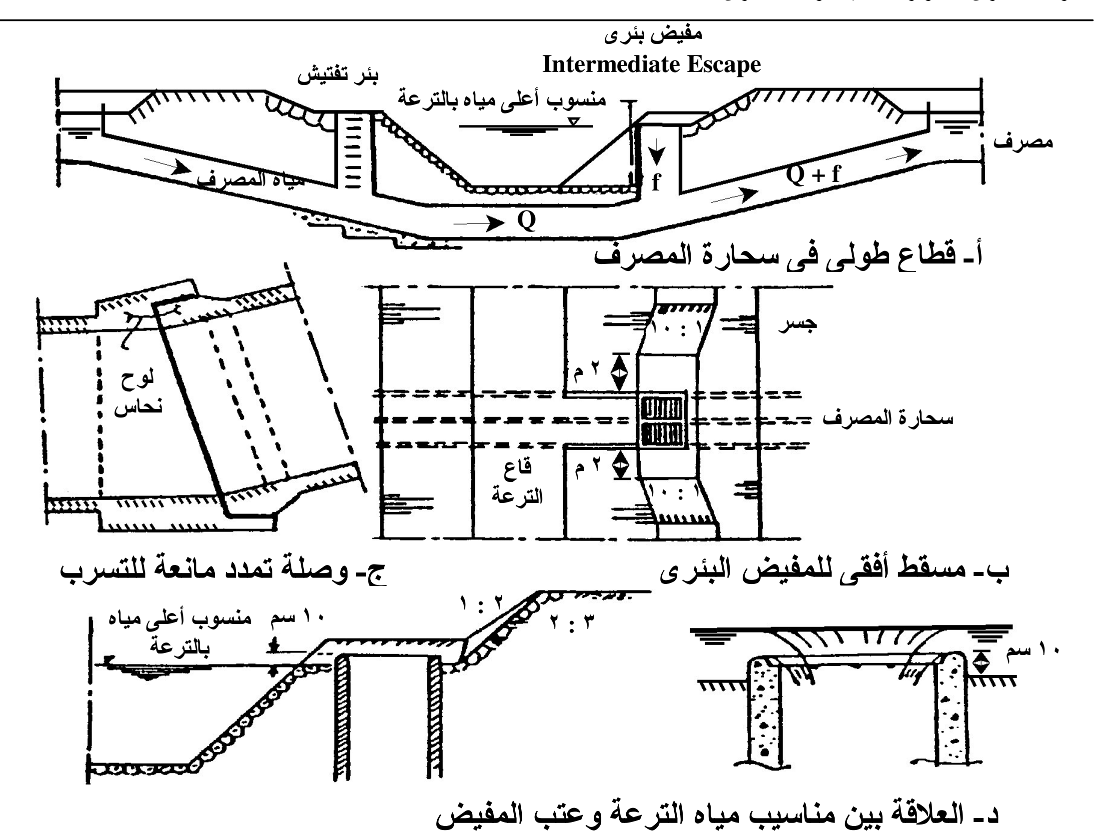
٣-٢ مفيضات الترع
يمكن تقسيم مفيضات الترع من الناحية الهيدروليكية إلى الأقسام التالية :
- مفيض بئرى فى نهاية الترعة - شكل (٣-٢) أو مفيض بئرى وسطى للتخفيف - شكل (٣-٣).
- مفيض على شكل هدار مستقيم أو مجموعة من الهدارات المتعاقبة عندما يكون الفارق بين منسوب المياه فى الترعة ومنسوب مياه المصرف كبيرا وقد تنشأ قناطر حجز (نهاية) لتهدئة حركة المياه أثناء انطلاقها تجاه المصارف وذلك حسب ما هو موضح فى الشكل (٣-٤).
- مفيض سيفونى ذاتى التشغيل كما هو موضح فى الشكل (٣-٥).



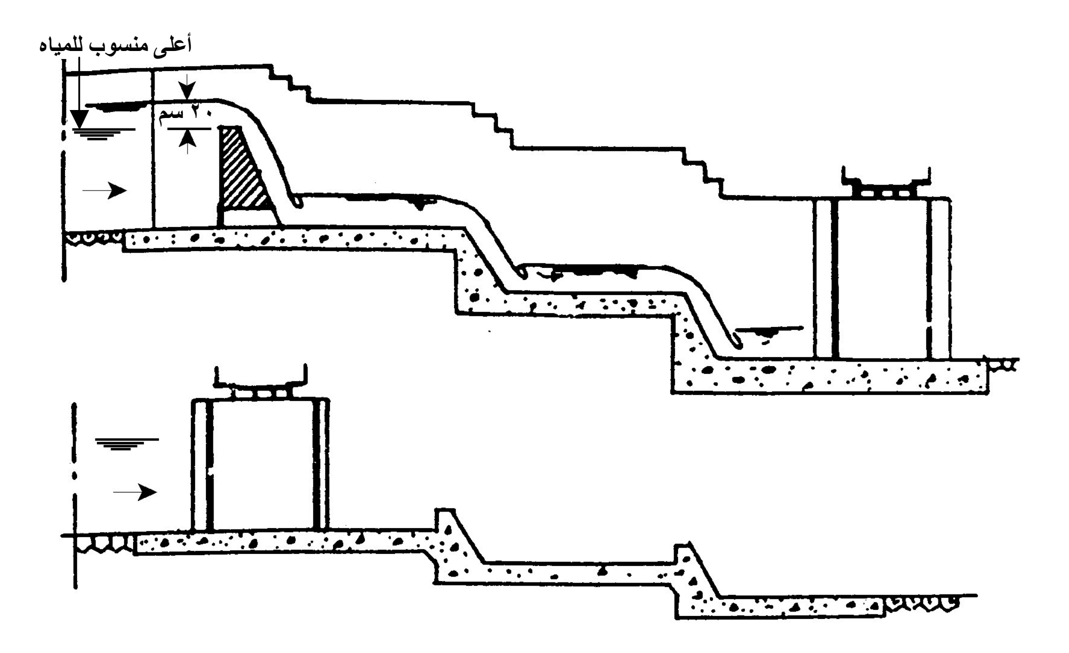
شكل (٣-١) مواقع مفيضات النهاية ومفيضات التخفيف (الوسطية)



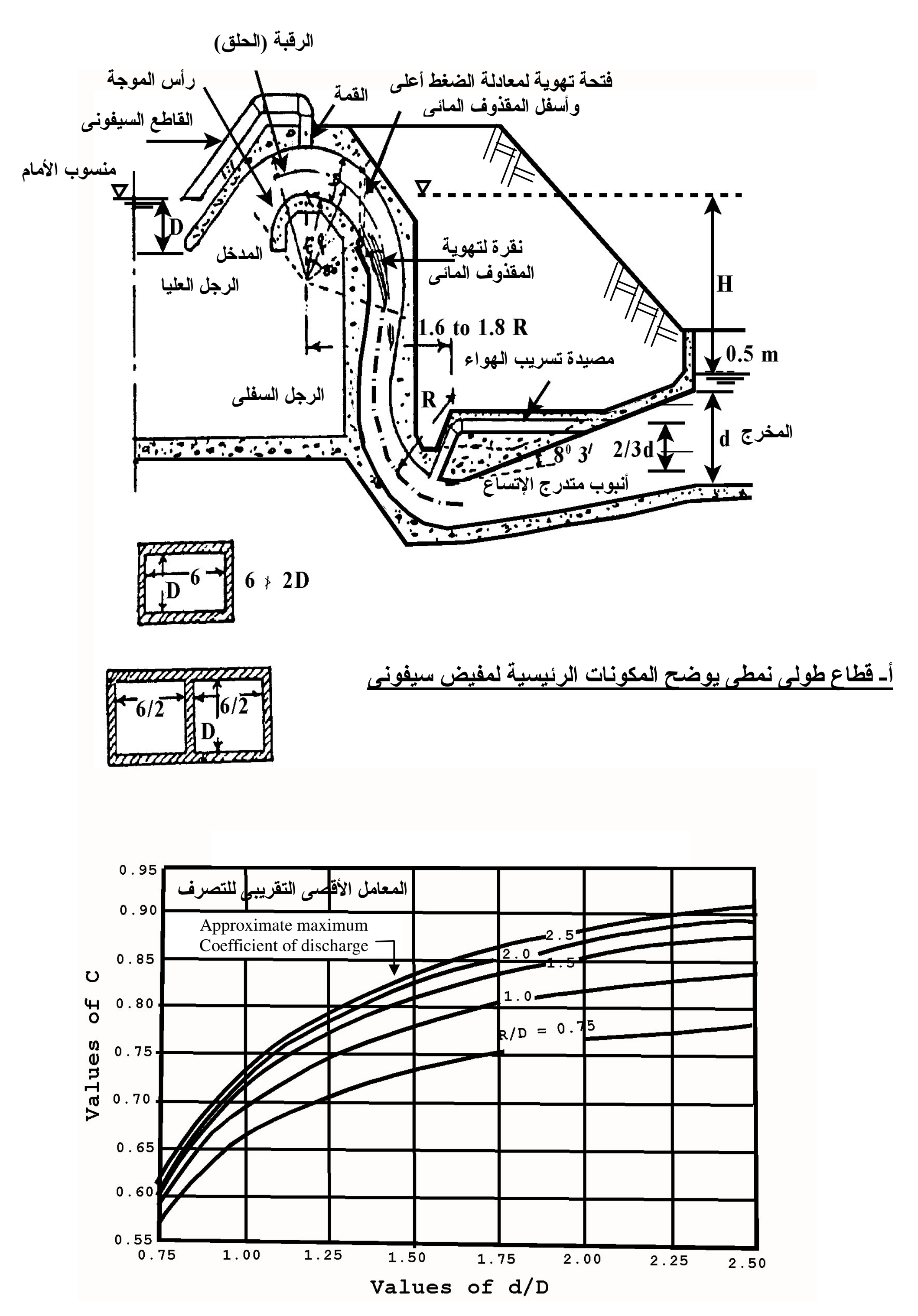
شكل (٣-٢) مفيض نهاية ترعة بئرى



شكل (٣-٣) مفيض بئرى وسطى للتخفيف



شكل (٣-٤) مفيض بشكل قنطرة حجز ومجموعة هدارات متعاقبة



شكل (٣-٥) المفيض السيفونى

٣-٢-١ مفيض النهاية من الطراز البئرى

ينشأ المفيض على شكل بئر بحيث يزيد منسوب العتب بمقدار ١٠ سم عن منسوب أعلى المياه بالترعة ويجب ألا يتعدى منسوب المياه بالترعة (فى الحالات الطارئة للتشغيل) عن ١٥ سم فوق منسوب عتب المفيض وفى هذه الحالة يلزم أن تكون مناسيب المساطيح فى الحبس الأخير من الترعة أعلى من منسوب العتب بمقدار ٢٥ سم على الأقل. ويعمل المفيض على تهريب المياه الزائدة بتدفق المياه فوق عتب الهدار وأيضا من خلال فتحة بأسفل البئر مزودة ببوابة حديدية لها عرض أكبر من قطر الفتحة ويتطلب ذلك إنشاء أكتاف من المبانى أعلى من منسوب عتب الهدار. ويجب الإهتمام بصيانة بوابة الفتحة السفلية فى حالة إنشائها حتى لا تتعرض للصدأ وتعمل على تسريب المياه بصورة دائمة.

ويتم تنفيذ ماسورة من الحديد أو الخرسانة لنقل المياه المتجمعة داخل البئر إلى أقرب مصرف وتصب بلوكات خرسانية تحت فواصل المواسير حسب الأبعاد المبينة فى الشكل (٣-٦) (الطول فى إتجاه الماسورة = قطر الماسورة ، العرض عموديا على محور الماسورة = قطر الماسورة + ٣٠ سم ، الإرتفاع = خمس قطر الماسورة + ٣٠ سم) وقد تكون قواعد الماسورة مستمرة بنفس العرض والإرتفاع السابقين. وماسورة الصرف إما أن تكون أفقية أو مائلة بإنحدار لا يزيد عن ٣٠ % ويكون الراسم السفلى للماسورة أعلى من أقصى منسوب للمياه فى المصرف. وتزود البيارة بشبكة أفقية لمنع دخول الأعشاب والأجسام الطافية فى الترعة إلى البئر ومنه إلى ماسورة الصرف وتصنع الشبكة من الأسياخ الحديدية على مسافات بينية لا تزيد عن ٥ سم.

٣-٢-١-١ أبعاد هدار المفيض البئرى

يحسب الطول من المفيض الذى تعلوه المياه وتتدفق فوقه إلى داخل البئر من معادلة الهدار

$$Q_w = \frac{2}{3} C_d \, B \sqrt{2g} \, h^{\frac{3}{2}} \qquad (3\text{-}1)$$

حيث

Q_w = التصرف المار فوق عتب الهدار إلى البئر متر[٣] / ث

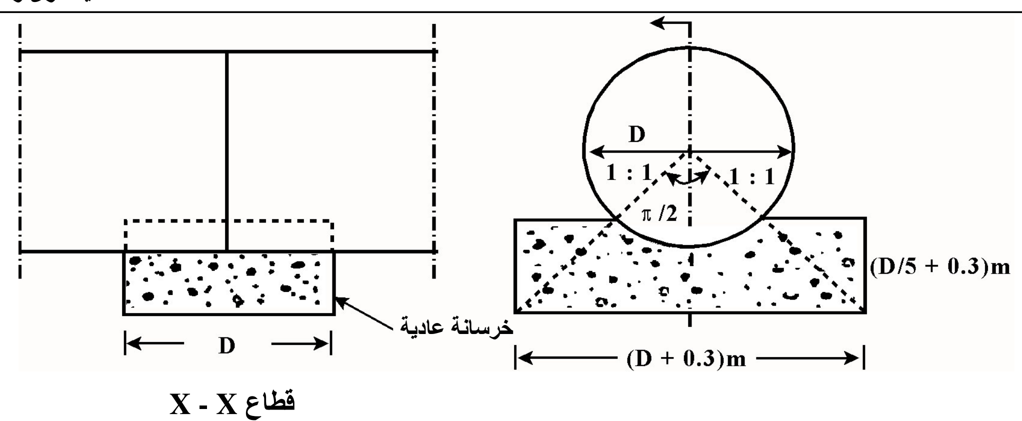
B = طول عتب الهدار الذى تعلوه المياه متر

C_d = معامل التصرف للهدار ولا تتعدى قيمته ٠,٦

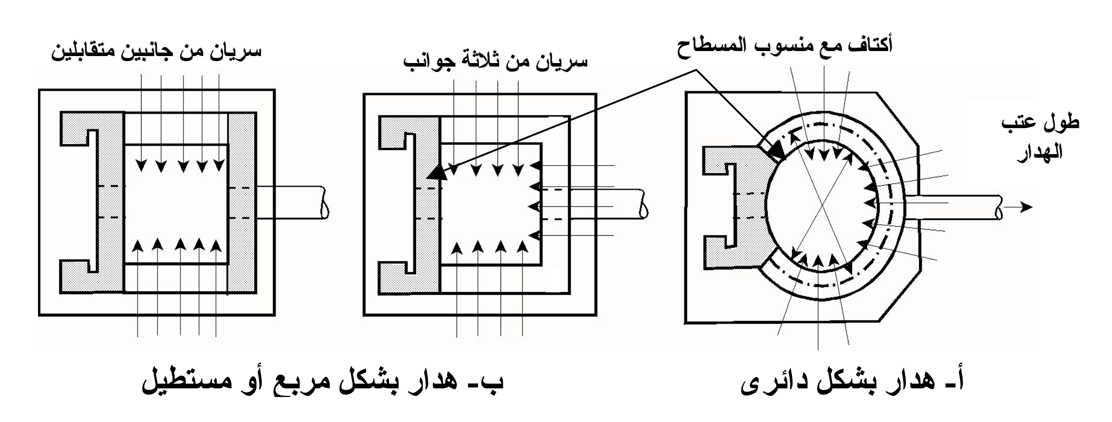
g = عجلة الجاذبية الأرضية وتساوى ٩,٨١ متر / ث[٢]

h = إرتفاع المياه فوق عتب الهدار وتؤخذ فى حدود ٠,١٥ متر

ويوضح الشكل (٣-٧) مساقط أفقية للمفيض البئرى فى حالة تشكيل الهدارات على هيئة دائرية أو بشكل مربع أو مستطيل. وفى حالة إستخدام الآبار الدائرية يؤخذ طول عتب الهدار مساويا ثلاثة أرباع طول محيط البئر $B = (3/4)\ D$ حيث D القطر المتوسط للبئر الدائرى.



شكل (٣-٦) أبعاد القواعد (البلوكات) الخرسانية تحت ماسورة صرف المفيض



شكل (٣-٧) طول الهدار فى المفيض البئرى

٣-٢-١-٢ قطر فتحة التفريغ

يمكن تفريغ الحبس الأخير من الترعة وذلك برفع بوابة الفتحة السفلى للبئر Orifice ويقدر الزمن اللازم للتفريغ من المعادلة التالية

$$T = \frac{2\sqrt{d}\,L}{3C_d\,a_0\,\sqrt{2g}}(B + 2b) \qquad (3\text{-}2)$$

حيث

T = الزمن اللازم للتفريغ	ثانية
L = طول الحبس الأخير من الترعة	متر
B = عرض الترعة عند منسوب أعلى مياه	متر
b = عرض قاع الترعة	متر
d = عمق المياه بالترعة	متر
a_0 = مساحة فتحة التفريغ الدائرية	متر مربع
C_d = معامل التصرف لفتحة التفريغ (٠,٦)	
g = عجلة الجاذبية الأرضية ٩,٨١	متر / ث٢

ويمكن إستعمال المعادلة التقريبية التالية لحساب زمن التفريغ والمستنتجة على أساس قسمة حجم المياه فى الحبس الأخير من الترعة على التصرف المتوسط لفتحة التفريغ

$$T = \frac{2\,L\,b_e\,d}{C_d\;a_0\;\sqrt{2g\,d}} \qquad (3\text{-}3)$$

حيث

b_e = عرض الترعة المتوسط بالمتر $[(B + b) / 2)]$

وتستخدم المعادلتان (٣-٢) أو (٣-٣) لحساب مساحة فتحة التفريغ a_0 ومن ثم قطر الفتحة d_0 وذلك بإعتبار زمن مناسب لتفريغ الحبس الأخير من الترعة يؤخذ عادة ما بين (١٨-٢٤) ساعة.

٣-٢-١-٣ ماسورة تصريف البئر Drainage Pipe

فى حالات التشغيل الطارئة عند رفع بوابة فتحة التفريغ فإن التصرف الوارد إلى بئر المفيض والذى يتحتم نقله من خلال ماسورة البئر إلى المصرف يساوى مجموع التدفق فوق عتب الهدار Q_w والتدفق من خلال الفتحة السفلى Q_0 حسب ما هو مبين فى الشكل (٣-٨).

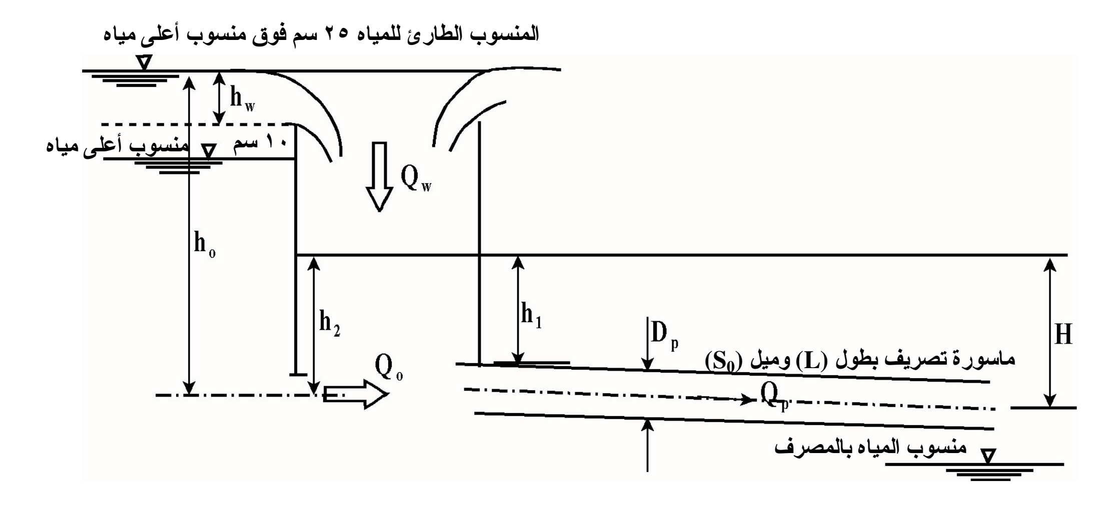
$$Q_p = Q_w + Q_0 \qquad (3\text{-}4)$$

حيث

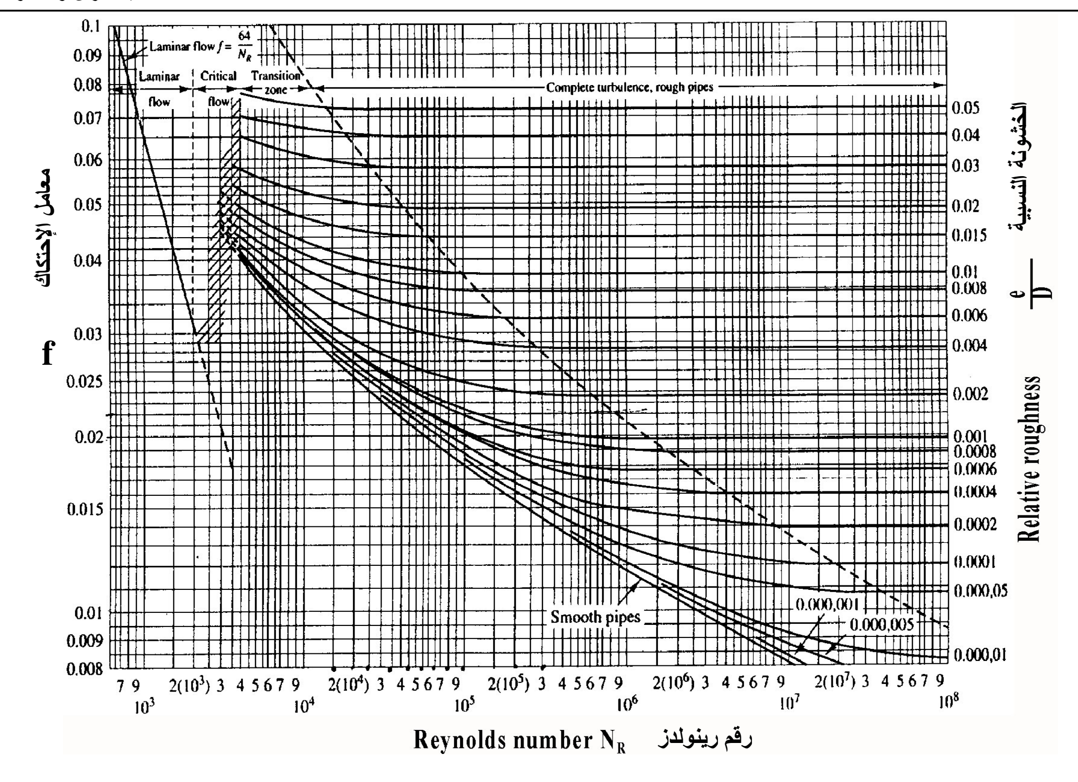
Q_p = التدفق الذى يمر خلال ماسورة التصرف (متر ٣ / ثانية)

ولإيجاد قطر ماسورة التصريف D_p تفرض سرعة مناسبة للمياه فى الماسورة (V) تتراوح ما بين (١,٠٠ - ٢,٥٠) متر / ث

$$D_p = \sqrt{4\,Q_p / \pi\,V} \qquad (3\text{-}5)$$



شكل (٣-٨) ماسورة تصريف المفيض البئرى



شكل (٣-٩) منحنى مودى لإيجاد قيم معامل الإحتكاك فى المواسير

ويجب مراجعة تحقيق الشرطين التاليين لحسن تشغيل ماسورة المفيض والبئر :

أ- ألا تقل نسبة الإرتفاع h_1 إلى قطر الماسورة عن ٠,٢٠ أى $(h_1 / Dp > 0.20)$ حيث h_1 إرتفاع المياه داخل البئر فوق الحافة الداخلية للسطح العلوى للماسورة.

ب- ألا تقل المسافة بين منسوب المياه داخل البئر ومنسوب عتب هدار البئر عن ٥٠ سم.

وبالرجوع إلى الشكل (٣-٨) يمكن حساب المسافة بين محور الماسورة عند المخرج وسطح المياه داخل بئر المفيض (H) من المعادلة التالية :

$$H = \frac{V^2}{2g}(1.50 + \frac{f\,L}{D_p}) \tag{3-6}$$

حيث

L = طول ماسورة التصريف بالمتر

f = معامل الإحتكاك للمواسير ويتوقف على قيمة الخشونة النسبية (e / D_p) ورقم رينولدز (VD_p/υ) وتقرأ قيمته من ديجرام مودى - شكل (٣-٩) وتتراوح قيمة معامل الإحتكاك ما بين (٠,٢٠ - ٠,٤٠)

υ= معامل اللزوجة الكينماتيكى للمياه (متر ^٢^ / ث)

e = إرتفاع الخشونة ويتوقف على المادة المصنوع منها ماسورة التصريف على النحو التالى

مادة الماسورة	إرتفاع الخشونة (e) مم
مواسير خرسانية (ملساء - شدات حديدية)	٠,١٨
مواسير خرسانية (متوسطة النعومة)	٠,٣٦
مواسير خرسانية (خشنة السطح)	٠,٦٠
مواسير صلب (جديدة)	٠,٠٤٥
مواسير حديد مطاوع (جديدة)	٠,٠٤٥
مواسير حديد مجلفن	٠,١٥
مواسير حديد زهر (جديدة)	٠,٢٦

ويمكن حساب المسافة h_1 المبينة فى الشكل (٣-٨) من المعادلة (٣-٧)

$$H = h_1 + L\ S_0 + D_p / 2 \qquad (3\text{-}7)$$

حيث

S_0 = الميل الطولى لماسورة التصريف

ولما كان تدفق فتحة التفريغ Q_0 يتوقف على إرتفاع المياه الأقصى أمام المفيض h_0 (وهو معلوم) وكذلك على إرتفاع المياه داخل البئر (h_2) مقاسين من مركز الفتحة فإن التصرف Q_0 لا يكون محددا عند تصميم ماسورة التصريف ويلزم تكرار طريقة المحاولة والخطأ للوصول إلى الحل النهائى الذى يضمن توافق التصرف (Q_0) والإرتفاع (h_2)

٣-٢-٢ مفيض التخفيف الوسطى

ينشأ مفيض التخفيف عادة عند أعمال تقاطع الترع والمصارف فى وجود سحارات أو بدالات حيث يكون المفيض متصلا بجسم السحارة كما هو موضح بالشكل (٣-٣) أو متصلا بحوائط الأجنحة فى مدخل البدالة حسب ما هو موضح بالشكل (٣-١٠). وإذا كان التدفق المطلوب تهريبه كبيرا جدا ينشأ المفيض منفصلا بالقرب من منشأ التقاطع ويكون عتب المفيض أعلى من منسوب المياه الأقصى فى الترعة بنحو ١٠ سم.

وفى حالة مرور مياه المصرف من خلال سحارة تحت قطاع الترعة فإن مفيض التخفيف يكون على شكل بئر ذى فتحة أو أكثر ويتصل بأنبوب السحارة وفى هذه الحالة يخفض منسوب مسطاح الترعة حتى يصل إلى منسوب المياه الأقصى بالترعة وذلك لإعداد منسوب مناسب لعتب الهدار. ويكون معامل التصرف للهدار فى هذه الحالة أقل من ٠,٦٠ وتتبع خطوات التصميم الواردة فى البند ٣-٢-١-١ لتحديد طول عتب الهدار المناسب ويزود عادة بفتحة تفريغ سفلية.

٣-٢-٣ المفيض السيفونى Syphon Spillway

ينشأ المفيض السيفونى عندما يكون التدفق المراد تهريبه كبيرا ومطلوب سرعة تصريفه مع المحافظة على ثبات المنسوب الأقصى للمياه بالترعة أو أمام السدود. ويتكون المفيض السيفونى من الأجزاء الرئيسية التالية حسب ما هو مبين فى الشكل (٣-٥).

- حلق المفيض وهو قطاع السيفون عند القمة Throat section .
- الرجل العليا للمفيض السيفونى وهى تمتد داخل الترعة Upper leg .
- الرجل السفلى للمفيض السيفونى وهى تلى حلق المفيض Lower leg .
- الأنبوب متدرج الإتساع لنقل التصرف إلى المصرف Diverging tube .
- قاطع موجه سيفونى يمتد من أعلى الرقبة إلى منسوب المياه الأقصى بالترعة Syphon breaker .

٣-٢-٣-١ عمل وتشغيل المفيض السيفونى

- يوجد شق (نقرة) أسفل العتب لتهوية المقذوف المائى كما توجد فتحة تهوية لمعادلة الضغط أعلى وأسفل المقذوف المائى موضوعة على جانب حائط الرجل السفلى للمفيض.
- يعمل السيفون كهدار عند إرتفاع صغير للمياه وعند إرتفاع المياه فوق عتب الهدار حيث يتعدى الضاغط ثلث إرتفاع الحلق (D/3) فإنه يتم تحضير السيفون ويبدأ عمله حيث يرتطم المقذوف المائى فوق العتب بالجانب الخلفى للرجل السفلية ويرتجع الهواء المحتبس فى الحلق.
- عندما ينخفض منسوب المياه بالترعة تتكشف فتحة الهواء بالأمام (القاطع السيفونى) ويتحرك الهواء إلى حلق السيفون وبذلك يتوقف العمل السيفونى للمفيض.
- تعمل مصيدة تسريب الهواء فى الإنحناء السفلى للمفيض على تقليل وقت تحضير السيفون دون الحاجة إلى زيادة مناسيب المياه فى الترعة.

٣-٢-٣-٢ قواعد التصميم الهيدروليكى للمفيض السيفونى

- يؤخذ منسوب عتب المفيض أعلا من منسوب المياه الأقصى فى الترعة بنحو ١٠ سم.
- الضاغط المائى المتاح (H) هو الفارق فى المناسيب بين عتب المفيض ومنسوب المياه فى المصرف.
- يتوقف إرتفاع حلق المفيض (D) على مقدار التصرف المطلوب تهريبه ويكون الحد الأدنى للإرتفاع ٦٠ سم.
- يحسب التصرف المار من المفيض لوحدة العروض (q) متر^3 / ث / متر من المعادلة

$$q = \mathrm{C\,D}\sqrt{2\,\mathrm{g}\,\mathrm{H}} \qquad (3\text{-}8)$$

حيث

C = معامل التصرف للمفيض السيفونى ويتوقف على النسبتين (d / D) ، (R_{CL} / D) ويؤخذ من الشكل (٣-٥) وعموما تتراوح قيمته ما بين (٠,٥٥ - ٠,٩٢)

d = عمق المياه خلف المفيض

R_{CL} = نصف قطر منحنى المفيض مقاسا عند مركز الحلق

- يجب ألا يتعدى التصرف لوحدة العروض من المفيض محسوبا من المعادلة (٣-٨) التصرف الأقصى المسموح به q_{max} حتى لا تحدث ظاهرة التكهف فى منطقة الحلق حيث يتم حساب التصرف الأقصى المسموح به من المعادلة (٣-٩)

$$q_{max} = \mathrm{r_c}\,\sqrt{2\mathrm{g}\,(0.7\,\mathrm{h}_{atm})}\;\mathrm{Log_e}\,(\frac{\mathrm{r_s}}{\mathrm{r_c}}) \qquad (3\text{-}9)$$

حيث

r_s = نصف قطر منحنى المفيض عند قمة قطاع الحلق بالمتر

r_c = نصف قطر منحنى المفيض عند العتب بالمتر

h_{atm} = قيمة الضغط الجوى مقدرا بإرتفاع عامود مكافئ من المياه بالمتر

- يتم حساب عرض المفيض $b = Q / q$ حيث Q التصرف المطلوب تهريبه ويختار عدد الفتحات المناسب بحيث لا يتعدى عرض الفتحة الواحدة إرتفاع المفيض عند الحلق ($b \leq 2D$) .
- مساحة مقطع القاطع السيفونى فى الأمام تساوى ١/٢٤ من مساحة مقطع المفيض عند الحلق.
- مساحة مقطع مصيدة تسريب الهواء فى الخلف تساوى ١/٤٠ من مساحة مقطع المفيض عند الحلق. ويكون منسوب محور مصيدة تسريب الهواء فى الخلف عند ثلثى عمق المياه خلف المفيض.
- مدخل المفيض السيفونى من الأمام ينبغى أن يكون تحت المنسوب الأقصى للمياه فى الأمام بمسافة (D) وتتراوح مساحة مقطع المدخل من ضعفين إلى ثلاثة أضعاف مساحة الحلق ويجب تزويد المدخل بشبك من الأسياخ الحديدية.
- يتم إختيار أنصاف أقطار المنحنيات عند مقطع حلق المفيض كالتالى :

$$R_{CL} = 2.5\ D \qquad (3\text{-}10)a$$
$$r_s = R_{CL} + (D/2) \qquad (3\text{-}10)b$$
$$r_c = R_{CL} - (D/2) \qquad (3\text{-}10)c$$

- زاوية الإنفراج للأنبوب متدرج الإتساع تؤخذ ٨,٥° .

٣-٣ مفيضات السدود

عندما تواجه السدود تصرفات أكبر من التصرفات التصميمية التى أنشئت من أجلها فإن المياه الزائدة تمر من خلال المفيض إلى مجرى النهر خلف السد أو تهدر إلى منطقة قريبة حماية للسد. ونظرا لفرق المناسيب بين قمة المفيض والقاع (منسوب الفرش فى حوض التهدئة) خلف السد فإن سرعة المياه فوق قمة المفيض أو خلال جسم المفيض تكون كبيرة جدا مما يسبب تآكل أسطح المفيض ونحر تربة الأساس خلف السد لو لم تتخذ الإحتياطات الكافية لمنع ذلك.

٣-٣-١ أنواع مفيضات السدود

تتعدد أنواع مفيضات السدود وخصائصها الهيدروليكية ومن الشائع إستخدام نوعين من المفيضات فى آن واحد أحدهما مع جسم السد نفسه والآخر فى منطقة الأكتاف كذلك يمكن تزويد المفيض ببوابات تحكم فى التصرف أو يترك حرا.

٣-٣-١-١ المفيض الحر Overfall Spillway

يعتبر المفيض الحر من أكثر أنواع المفيضات شيوعا وهو يناسب السدود التثاقلية الخرسانية والحجرية التى تتميز بطول مناسب لقمة السد وتكون قمة المفيض غالبا منحنية وتشكل لتلائم الحافة السفلى لمقذوف المياه فوق هدار حاد عند أقصى تصرف تصميمى وبذلك لا يتعرض سطح المفيض لأية ضغوط إضافية. وإذا قل التصرف المار عن التصرف التصميمى تعرض سطح المفيض لضغط موجب (أكبر من الضغط الجوى) أما إذا زاد التصرف المار عن التصرف التصميمى فإن سطح المفيض يتعرض لضغط سالب (أقل من الضغط الجوى) ويعرف هذا السطح المنحنى بسطح أوجى (Ogee).

٣-٢-١-٢ المفيض المنحدر Chute Spillway

المفيض المنحدر عبارة عن قناة مفتوحة (شديدة الميل) لتوصيل المياه من بحيرة التخزين أمام السد إلى مخرج المياه خلف السد وهو شائع الإستعمال فى حالة السدود الركامية والترابية ويعتبر أبسط الأشكال

لهذه المفيضات المنشأ المستقيم ذو العرض الثابت نظرا لأن تغير العرض أو الاضطرار لعمل الإنحناءات فى القناة قد يؤدى إلى صعوبات فى التصميم للتغلب على مشاكل تكوين الموجات الإنتقالية والموجات المتداخلة وعمليات التهوية فى حالة السريان فوق الحرج وما يتبعها من دفع وغمر الحوائط الجانبية وإنسكاب المياه فوقها خاصة فى المفيضات ذات القطاعات الصغيرة وغالبا ما يتم وضع بوابات على مدخل القناة للتحكم فى التصرفات المارة كما هو موضح بالشكل (٣-١٠).

٣-٣-١-٣ مفيض القناة الجانبية Side-Channel Spillway

يستخدم المفيض الجانبى فى الحالات التى يصعب فيها إستخدام المفيض الحر وفى الحالات التى يكون فيها موقع السد محصورا بين جوانب عالية ذات ميول حادة. فى هذه الحالة تنحدر المياه فوق حافة الهدار إلى القناة ويكون إتجاه السريان فى هذه الحالة موازيا لحافة المفيض (عموديا على جسم السد) وغالبا ما يزداد عرض القناة فى إتجاه السريان كما هو موضح بالشكل (٣-١١).

٣-٣-١-٤ المفيض البئرى Shaft Spillway

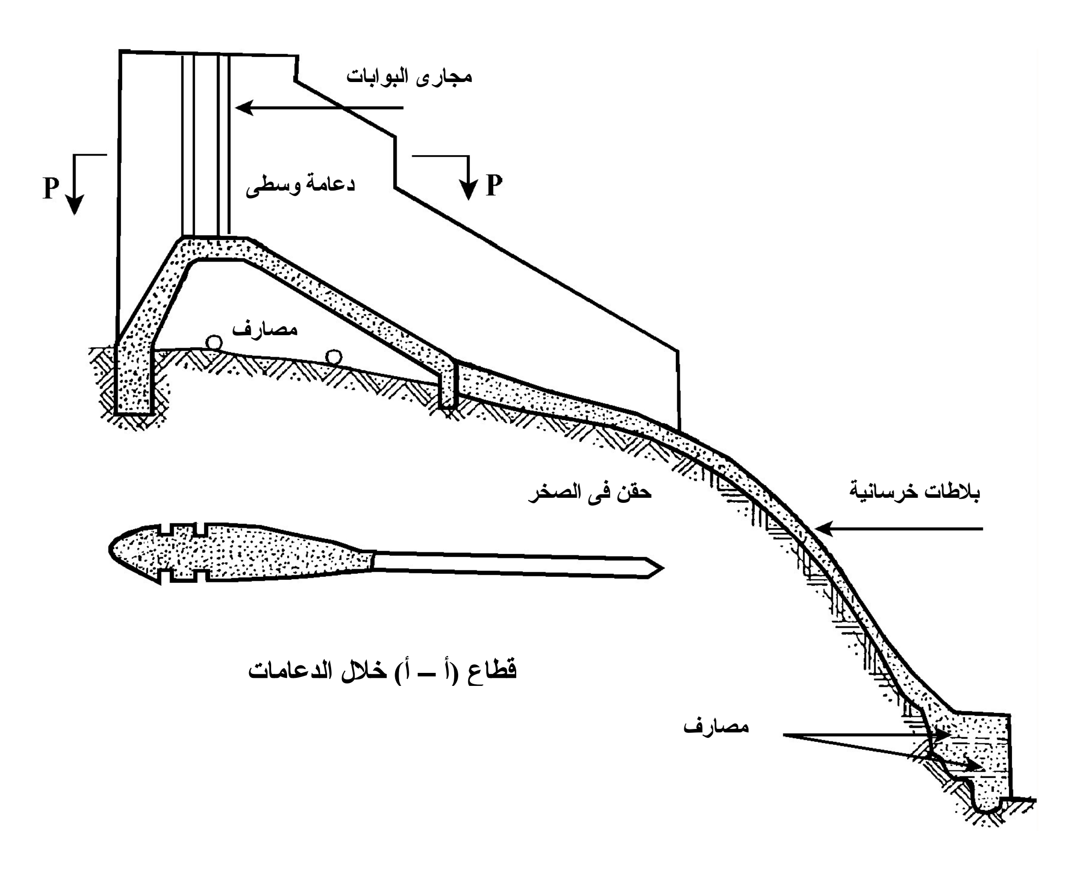
تمر المياه الزائدة عن التخزين فى هذا النوع من المفيضات فوق حافة مفيض قمعى الشكل حيث تتحرك رأسيا لأسفل كما هو مبين فى الشكل (٣-١٢) ويستخدم هذا النوع من المفيضات فى الأودية الضيقة العميقة التى لا يكفى فيها العرض لإنشاء المفيض فوق السد وأيضا فى حالة التصرفات الصغيرة. ومن عيوب هذا النوع من المفيضات أن التصرفات المارة من خلال المفيض تزداد تدريجيا مع زيادة إرتفاع المياه فوق حافة الهدار حتى تصل إلى حد معين يتم بعده غمر الهدار وتكون الزيادة فى التصرفات بعد ذلك بطيئة ولا تتناسب مع عمق المياه فوق الهدار وبذلك تقل عوامل الآمان عند مرور الفيضانات الكبيرة غير المتوقعة.

٣-٣-١-٥ أنفاق المفيضات

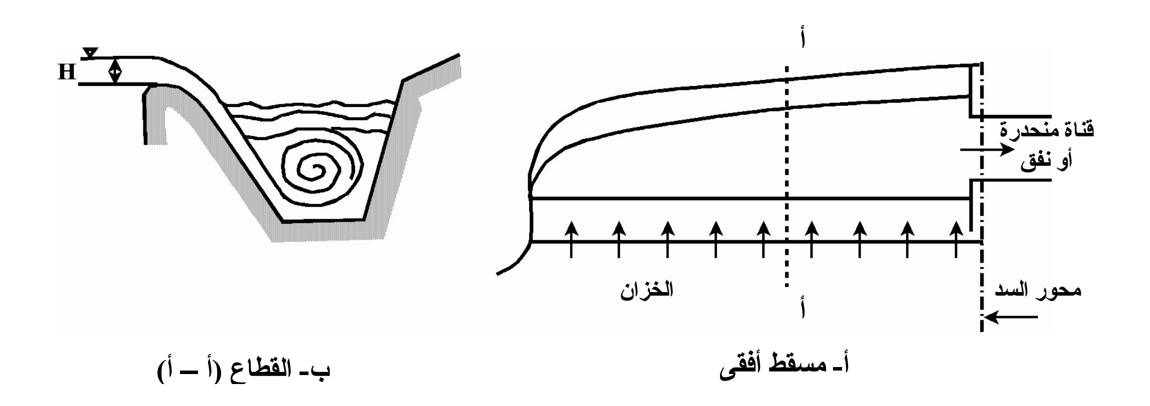
تستخدم الأنفاق عادة كمجارى لنقل المياه بالمفيضات المختلفة كما هو مبين بالشكل (٣-١٣) وتكون قطاعاتها عادة دائرية أو على شكل حدوة الفرس وتبطن بالخرسانة بإعتبار أن الخرسانة من المواد عالية المقاومة للسرعات العالية خاصة إذا كانت الخرسانة ناعمة وتيار المياه مواز للحوائط وخال من المواد العالقة. وفى حالة مرور المواد الأكثر خشونة مع المياه المندفعة بالنفق ومع وجود حوائط ليست ناعمة فإن النحر المتوقع قد يصل إلى حد الخطورة وعادة ما تحدث هذه الحالة عند إمتلاء بحيرة التخزين بالرسوبيات وإقتراب هذه المواد من فتحة المفيض.

٣-٣-١-٦ المفيض السيفونى Syphon Spillway

سبق التعرض لهذا النوع من المفيضات فى البند ٣-٢-٣ وهو يستخدم مع الإرتفاعات الصغيرة والتصرفات المتوسطة فى الحالات المطلوب فيها ضبط وتنظيم مناسيب المياه بطريقة تلقائية. ونظرا لأن المفيض السيفونى يمكن تحضيره فى فترة وجيزة حتى يعمل بكامل طاقته فإنه يستخدم عند نهاية محطات الطاقة ذات القنوات الطويلة والسعة المحدودة عند المدخل الأمامى للتربينات حيث يمكن إيقاف التربينات عند الضرورة لتفادى حدوث فيضانات فوق جسور المجرى.



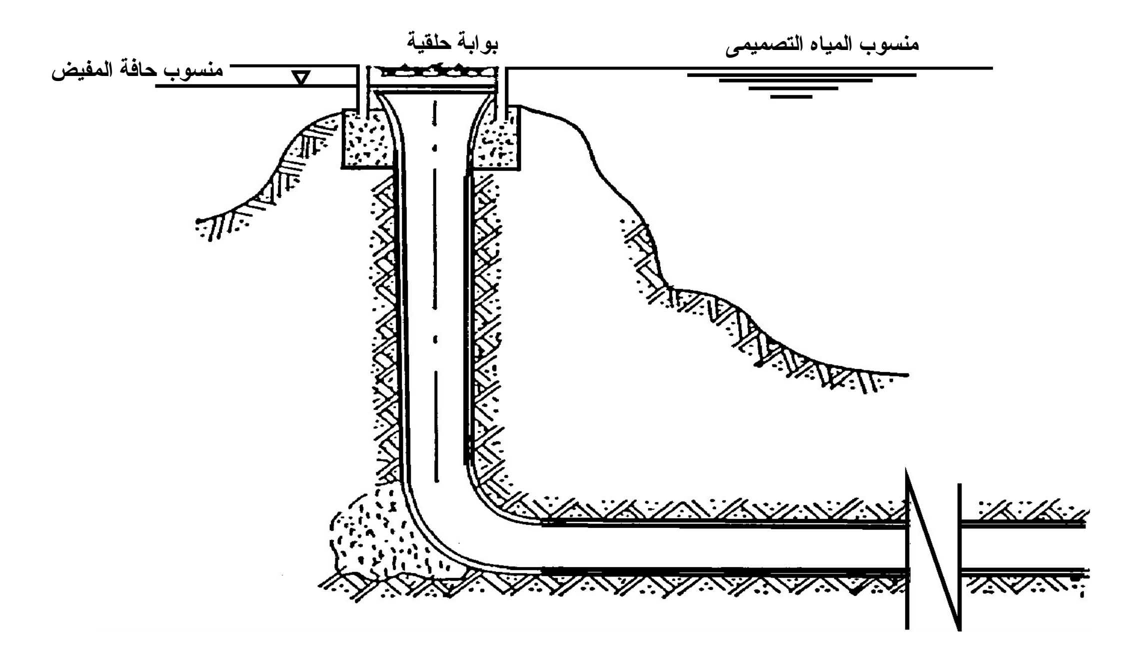
شكل (٣-١٠) مفيض منحدر مزود ببوابات



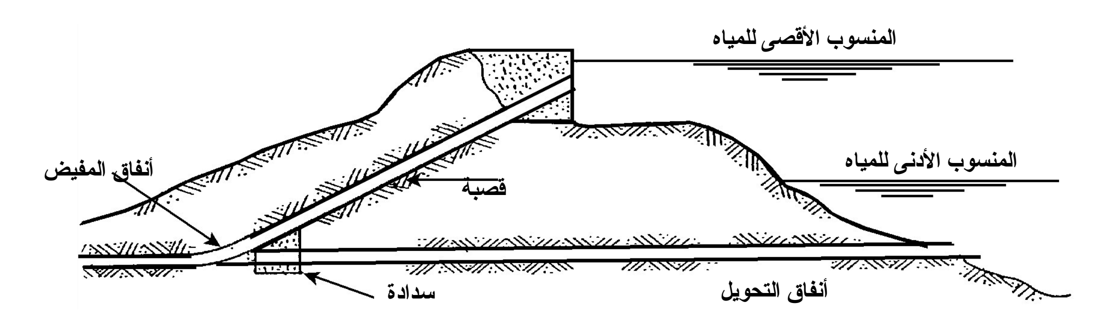
ب- القطاع (أ – أ)

أ- مسقط أفقى

شكل (٣-١١) مفيض القناة الجانبية



شكل (٣-١٢) مفيض بئرى



شكل (٣-١٣) مفيض أنفاق

٣-٣-٢ التدفق فوق مفيض حر من طراز أوجى

يوضح الشكل (٣-١٤) التشكيل الهندسى النمطى للمفيض الحر من طراز أوجى حيث H_D يمثل إرتفاع المياه الكلى فوق منسوب قمة المفيض المقابل للتصرف التصميمى شاملا سرعة الإقتراب. ويحسب التصرف المار فوق المفيض من المعادلة التالية :

$$Q = C\sqrt{2g}\, L\, H^{3/2} \qquad (3\text{-}11)$$

حيث

Q = التصرف المار فوق المفيض الحر (متر مكعب / ثانية)

L = طول المفيض فى إتجاه عمودى على إتجاه السريان (متر)

H = الضاغط الكلى على قمة المفيض ويشمل إرتفاع المياه فوق قمة الهدار (h_p) بالإضافة إلى الإرتفاع المكافئ لسرعة إقتراب المياه (h_a) حسب ما هو مبين فى الشكل (٣-١٤)

C = معامل التصرف (بدون أبعاد)
ويعطى الشكل (٣-١٥)أ قيم معامل التصرف C_D لظروف التصرف التصميمى للمفيض عندما تكون ($H = H_D$) وذلك كدالة فى الإرتفاع النسبى (P/H_D) حيث P إرتفاع المفيض فوق منسوب القاع من جهة الأمام شكل (٣-١٤) ويعطى الشكل (٣-١٥)ب القيم المعدلة لمعامل التصرف C فى حالة المفيض لتصرفات تختلف عن التصرف التصميمى Q_D .

وفى حالة تزويد المفيض ببوابات للتحكم فى التصرف كما هو موضح بالشكل (٣-١٦) فإن التصرف المار فوق حائط الهدار يتبع معادلة التصرف المار فى الفتحات ويعطى بالمعادلة (٣-١٢)

$$Q = \frac{2}{3}\sqrt{2g}\, C\, L\, (H_1^{3/2} - H_2^{3/2}) \qquad (3\text{-}12)$$

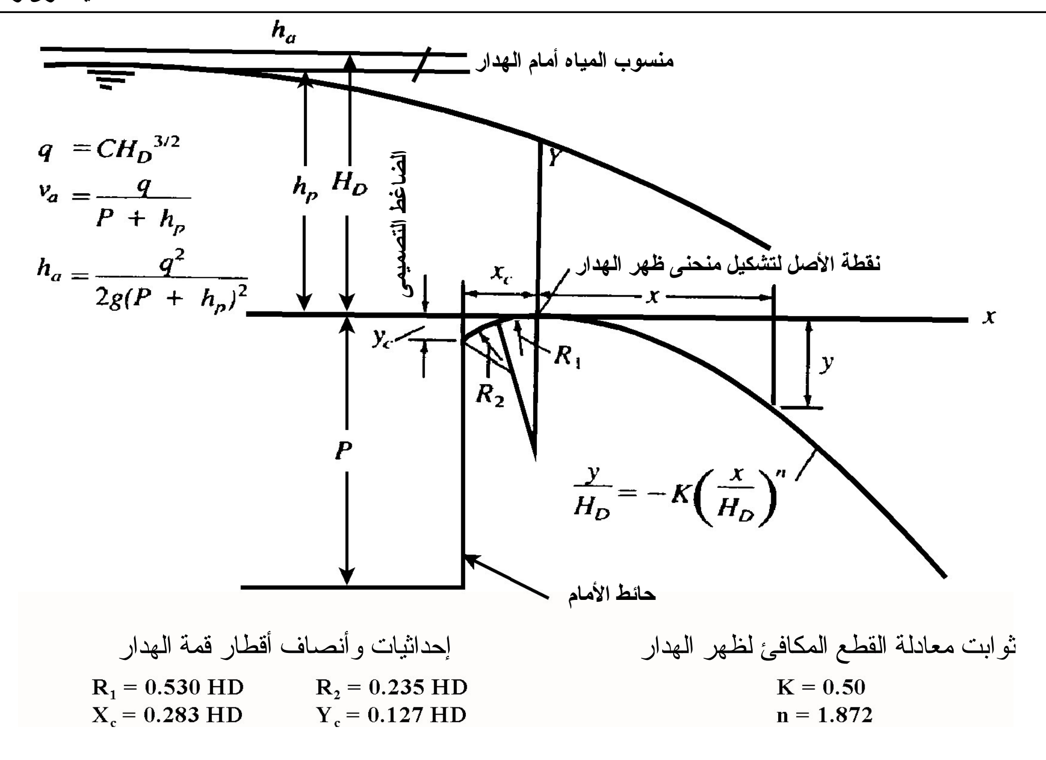
حيث
L = طول المفيض
H_1 = الضاغط الكلى فوق قمة المفيض
H_2 = الضاغط الكلى مقاسا من الحافة السفلى للبوابة
C = معامل التصرف فى حالة وجود بوابات وتتراوح قيمته ما بين (٠,٦٤ - ٠,٧٣) وهو يعتمد على النسبة بين إرتفاع فتحة البوابة ($d=H_1-H_2$) وقيمة الضاغط الكلى فوق قمة المفيض H_1

٣-٣-٣ أحواض التهدئة Stilling Basins

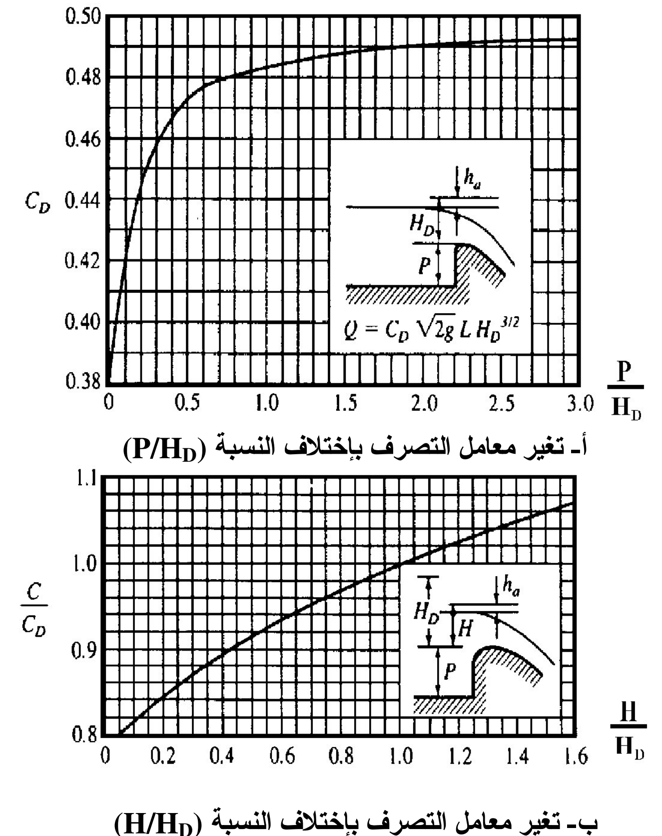
تستخدم أحواض التهدئة خلف المفيضات والهدارات لتجنب النحر فى منطقة الأساسات خلف السد من جراء إندفاع المياه فوق المفيض أو من خلال الأنفاق ذات التصرفات الكبيرة وذلك لتشتيت الطاقة قبل عودة المياه إلى النهر وذلك من خلال تكوين ما يعرف بالقفزة المائية Hydraulic jump حيث يزداد عمق المياه خلال القفزة من d_1 إلى d_2 وتقل سرعة السريان من V_1 أمام القفزة إلى V_2 خلف القفزة ويرتبط شكل القفزة بقيمة رقم فرود Froude’s number فى الأمام محسوبا من المعادلة (٣-١٣)

$$N_{F1} = V_1 / \sqrt{g\, d_1} \qquad (3\text{-}13)$$

حيث
d_1 = عمق المياه أمام القفزة فى حالة القطاعات المائية المستطيلة ويساوى العمق الهيدروليكى معرفا كمساحة القطاع المائى مقسوما على عرض القطاع عند منسوب سطح المياه لغيره من الأشكال



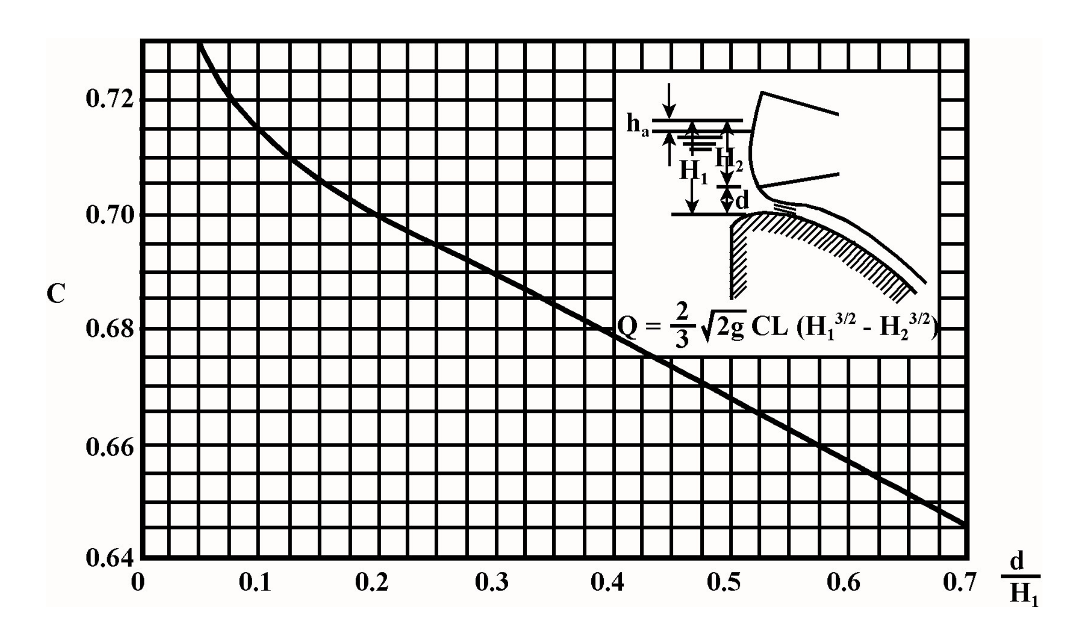
شكل (٣-١٤) تشكيل هندسى نمطى لهدار المفيض الحر من طراز أوجى



أ- تغير معامل التصرف بإختلاف النسبة (P/H_D)

ب- تغير معامل التصرف بإختلاف النسبة (H/H_D)

شكل (٣-١٥) معامل التصرف لمفيض حر من طراز أوجى

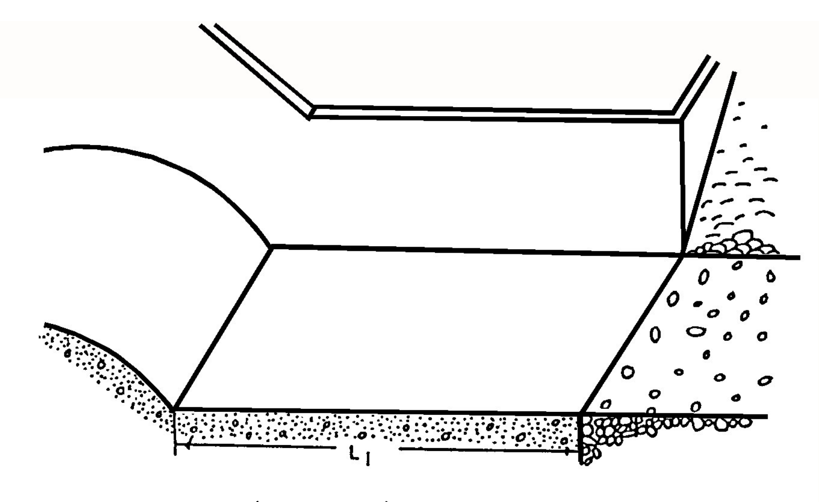


شكل (٣-١٦) معامل التصرف للتدفق تحت بوابات فوق مفيض حر من طراز أوجى

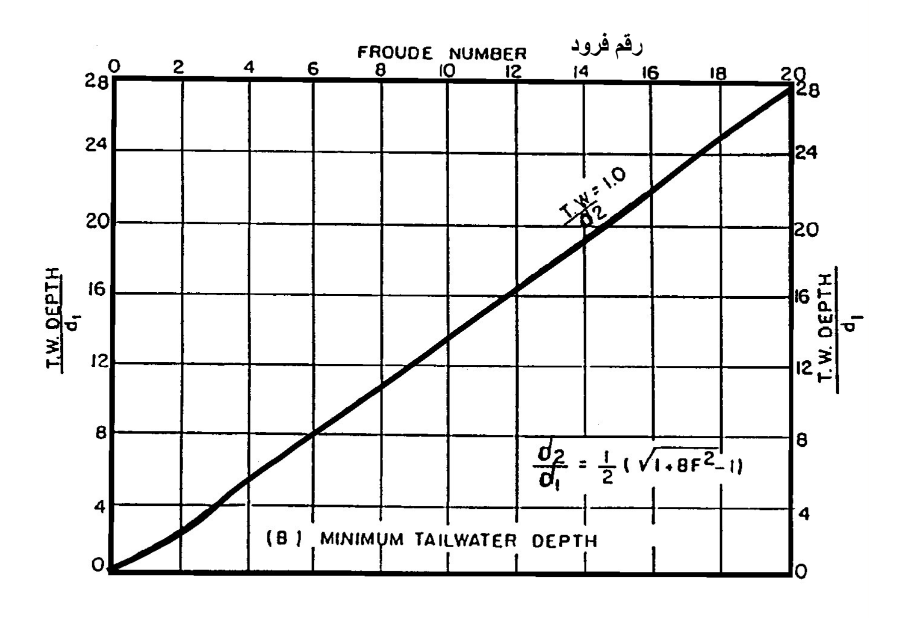
ويعتمد تصميم أحواض التهدئة على شكل وخواص القفزة الهيدروليكية (الطول - الإرتفاع - سرعة السريان) والتى تتوقف على قيمه رقم فرود فى بداية القفزة وهناك أربعة أشكال نمطية لأحواض التهدئة بيانها كالتالى :

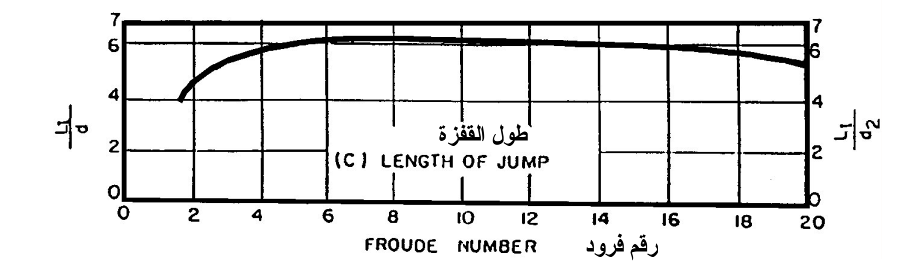
- عندما تقل قيمة رقم فرود فى الأمام عن ١,٧ لا يلزم إنشاء أحواض تهدئة خلف المفيض أيا كان نوعه.
- عندما تتراوح قيمه رقم فرود ما بين (١,٧ - ٢,٥) تكون القفزة الهيدروليكية فى مراحلها الأولى وفى هذه الحالة يتم إنشاء حوض التهدئة بدون أى منشآت لتشتيت طاقة المياه وهو ما يعرف بالنوع الأول من أحواض التهدئة شكل (٣-١٧).
- عندما تتراوح قيمه رقم فرود ما بين (٢,٥ - ٤,٥) تأخذ القفزة الهيدروليكية شكلها النهائى ويتم إنشاء أحواض التهدئة مع تزويدها بمنشآت تشتيت الطاقة مثل بلوكات تخفيف التيار المنحدر وأحيانا يضاف عتب خلفى فى نهاية الفرش ويوضح الشكل (٣-١٨) هذا النوع من أحواض التهدئة الذى يعرف بالنوع الرابع.
- عندما تزيد قيمه رقم فرود عن ٤,٥ ولا تتعدى سرعة المياه قبل القفزة (V_1) ١٥ متر / ثانية تنشأ أحواض التهدئة من النوع الثالث وتزود بمنشآت تشتيت الطاقة من بلوكات تخفيف التيار المنحدر وبلوكات الإعاقة والعتب الخلفى كما هو موضح فى الشكل (٣-١٩).
- عندما تزيد قيمه رقم فرود عن ٤,٥ وتزيد سرعة المياه قبل القفزة (V_1) عن ١٥ متر / ثانية تنشأ أحواض التهدئة من النوع الثانى وتزود بمنشآت تشتيت الطاقة كما هو موضح فى الشكل (٣-٢٠).

وفى حالة السدود الخرسانية التى يتم إنشاؤها على الصخور الصلبة من أنواع الجرانيت والبازلت والمزودة بمفيض من النوع الحر فإنه يمكن الإستغناء عن أحواض التهدئة وتوجيه المياه المنحدرة بعيدا عن السد عن طريق تغيير إتجاهها عند نهاية قدمة السد بواسطة القواديس العاكسة كما هو موضح بالشكل (٣-٢١).

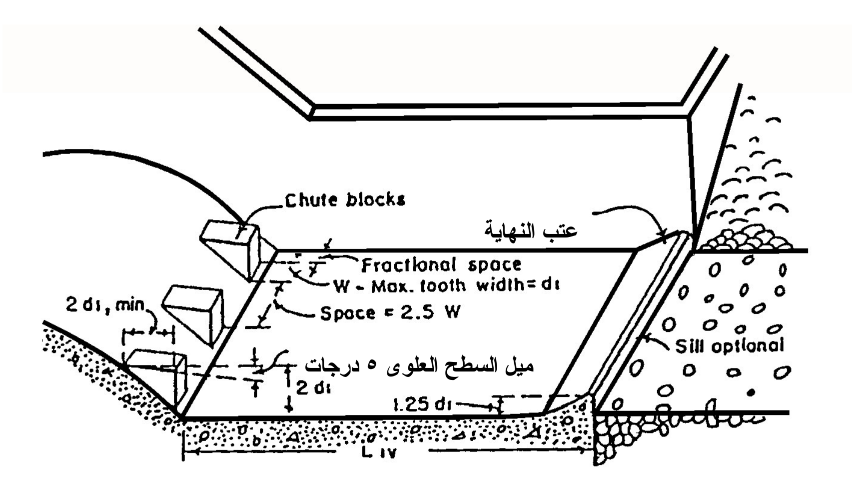


شكل حوض التهدئة من النوع الأول

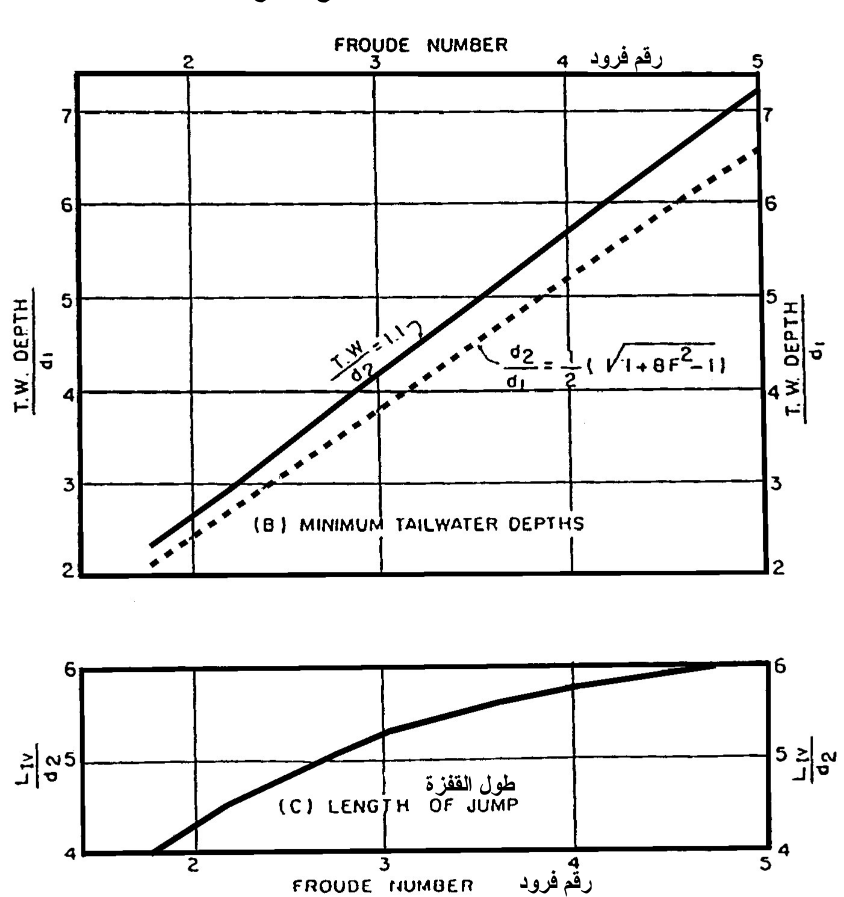




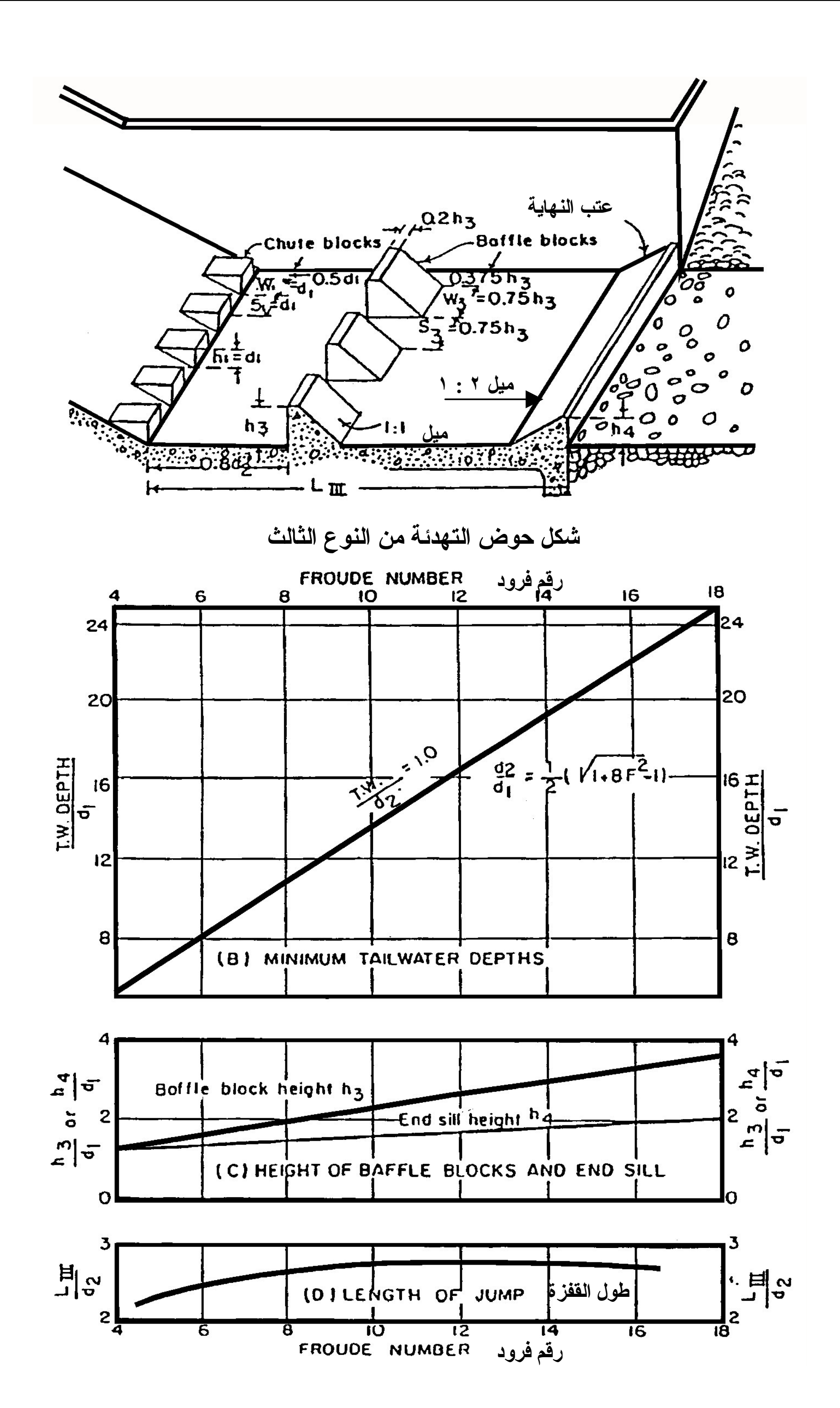
شكل (٣-١٧) خواص حوض تهدئة من النوع الأول (رقم فرود يتراوح ما بين (١,٧ - ٢,٥))



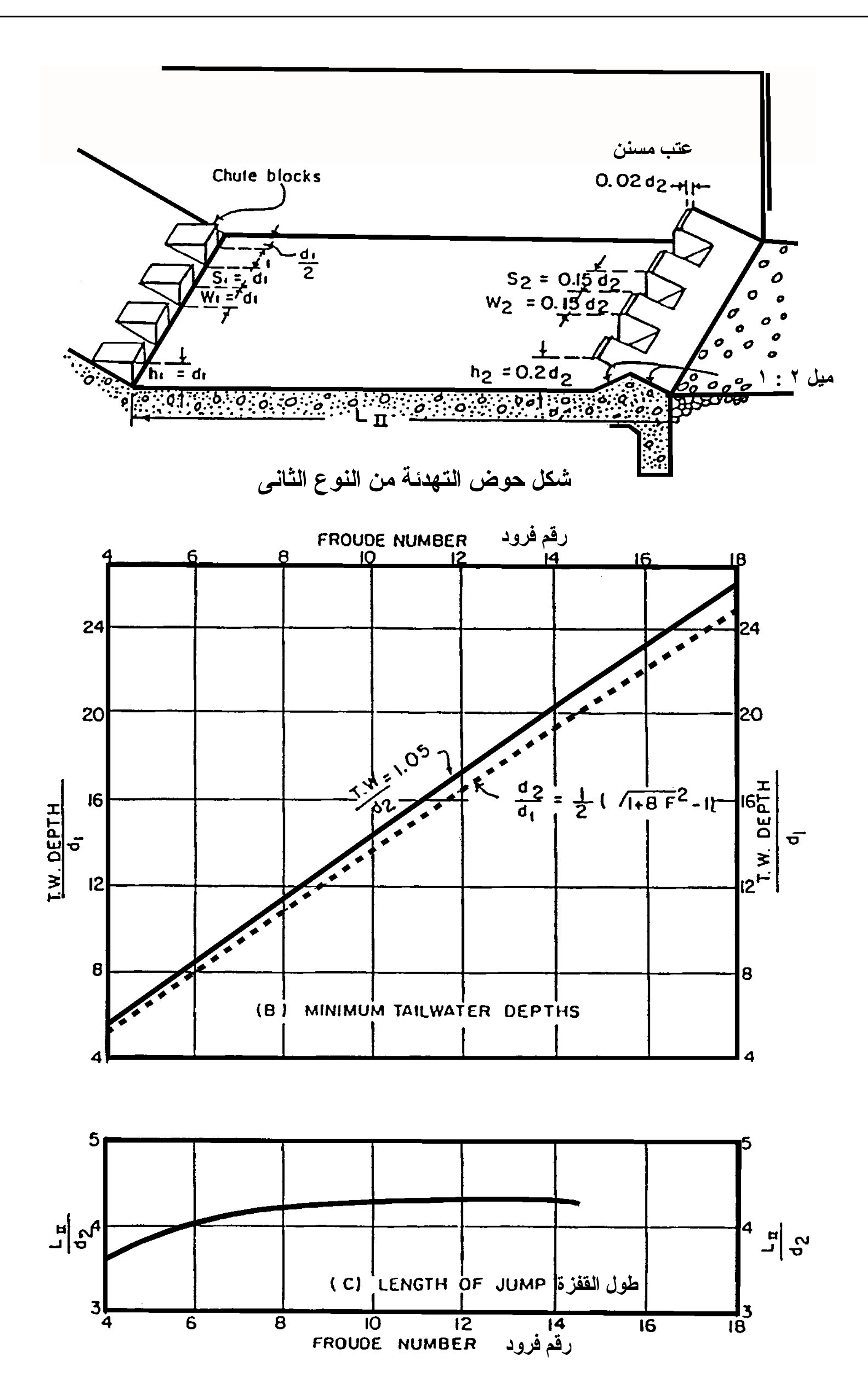
شكل حوض التهدئة من النوع الرابع



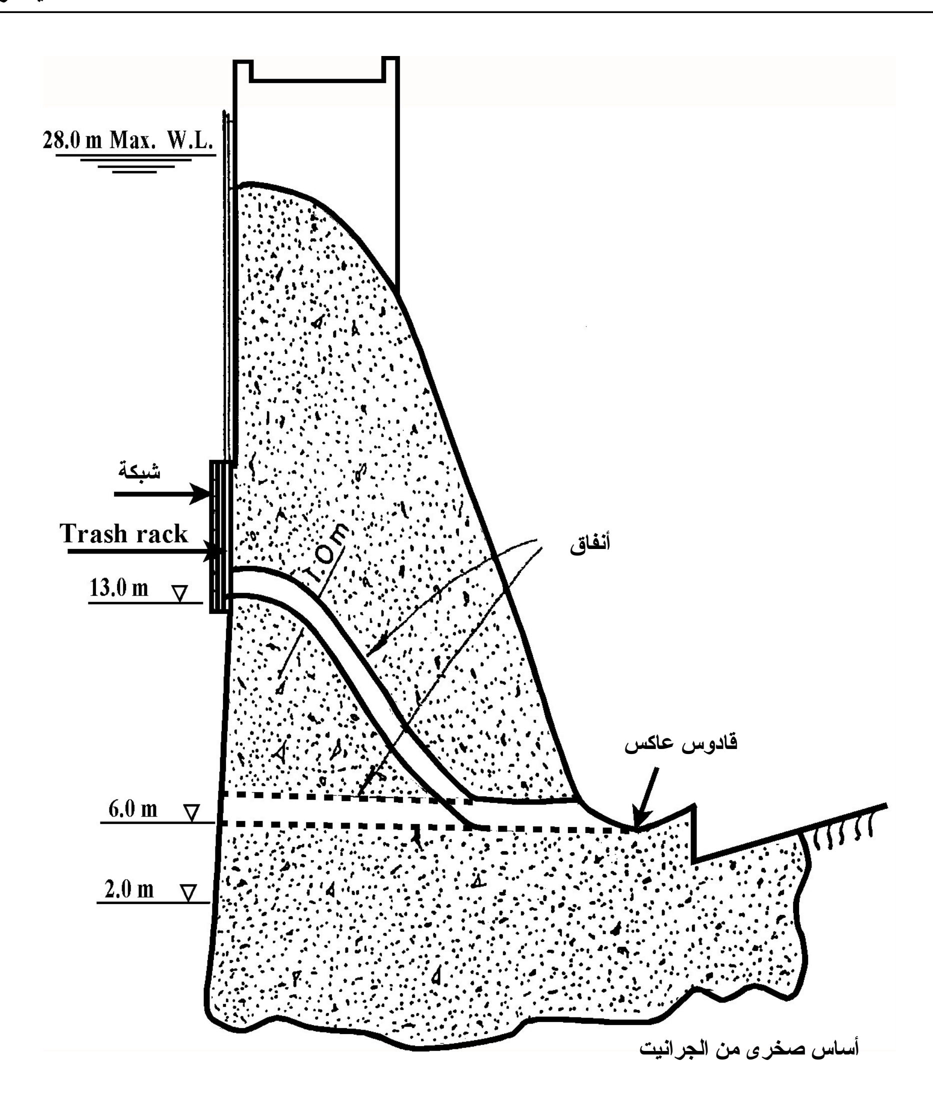
شكل (٣-١٨) خواص حوض تهدئة من النوع الرابع (رقم فرود يتراوح ما بين (٢,٥ - ٤,٥))



شكل (٣-١٩) خواص حوض تهدئة من النوع الثالث (رقم فرود أكبر من ٤,٥ وسرعة الإقتراب أقل من ١٥ متر / ثانية)



شكل (٣-٢٠) خواص حوض تهدئة من النوع الثانى (رقم فرود أكبر من ٤,٥ وسرعة الإقتراب أكبر من ١٥ متر / ثانية)



شكل (٣-٢١) إستخدام القادوس العاكس فى إبعاد مياه المفيض عن جسم السد وتشتيت طاقتها

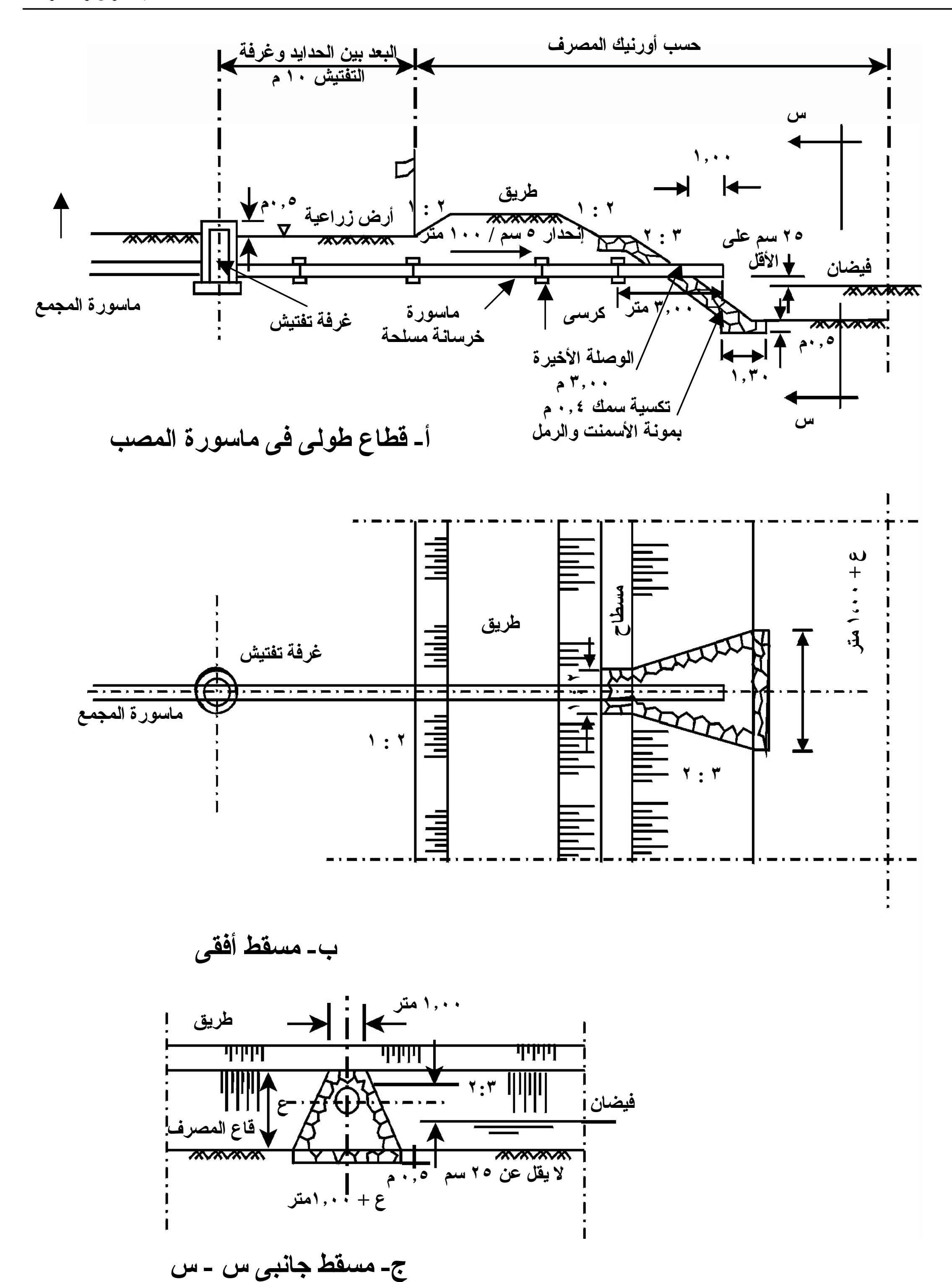
٣-٤ المصبات وأنماطها Outlets

المصب هو منشأ مائى لصرف مياه المصرف الفرعى إلى المصرف الرئيسى وقد يأخذ أحد الأنماط التالية :

- مصب مصرف فرعى مكشوف تحت جسر المصرف الرئيسى المكشوف على شكل كوبرى مصب ذى سقف مسلح أو ماسورة تحت جسر المصرف الرئيسى.
- مصب على شكل ماسورة من خلال بيارة صرف بنهاية مجمع الصرف المغطى Collector تحت جسر المصرف الرئيسى المكشوف حسب الشكل (٣-٢٢).

ويتكون المصب فى الحالة الثانية من مواسير مسلحة بنفس قطر مواسير المجمع عند غرفة المصب ويتم تركيبه عموديا على المصرف ويكون بروز ماسورة المصب داخل المصرف حوالى ١,٠٠ متر ويمر المصب تحت جسر المصرف وداخل الأرض الزراعية بنحو ١٠ متر إلى غرفة المصب ويكون طول الوصلة الأولى من مواسير المصب ٣,٠٠ متر ويتم عمل جلب مسلحة على الفواصل بين المواسير مع تحميل المواسير على كراسى خرسانية ويتم رص مواسير المصب بميول أكبر نسبيا من ميول المجمع.

هذا وتبنى تكسيات الدبش سمك ٠,٤٠ متر عند مصب المجمعات بالمصرف الرئيسى بحيث تبدأ بقدمة سفلى بسمك ٠,٥٠ متر وسطحها على قاع المصرف الرئيسى وبميل مماثل للميل الجانبى للمصرف وتصل إلى قدمة عليا بسمك ٠,٥٠ متر أعلاها مع منسوب أرض الزراعة ويكون عرض التكسية من أعلا ١,٠٠ متر ومن أسفل (١,٠٠ + ع) حيث ع إرتفاع التكسية من قاع المصرف إلى أرض الزراعة (شكل ٣-٢٢).



شكل (٣-٢٢) مصب مجمع الصرف المغطى على مصرف مكشوف

٣-٥ المراجع

1. El-Kateb,M.H., "Irrigation Design I: Escapes, Culverts, Syphons and Aqueducts", Class Notes, Faculty of Engineering, Cairo University, (1984).

2. Mays, L.W., "Water Resources Engineering ", John Wiley and Sons, Inc., NewYork, U.S.A, (2001).

3. Novak, P., Moffat, A., Nalluri, C. and Narayanan, R., "Hydraulic structures", 2nd edit, E & FN Spon, London, U.K, (1996).

4. U.S. Bureau of Reclamation, "Design of Small Dams", 2nd edit, U.S Government Printing Office, Washington D.C., U.S.A, (1977).

5. Vischer, D.L. and Hager, W.H., "Dam Hydraulics", John Wiley and Sons, New York, U.S.A, (1998).

الباب الرابع
الهدارات Weirs

٤-١ تعريف
يطلق أسم الهدار على حاجز جاسئ أصم يعترض المجرى ويتدفق الماء فوق عتبه ليستمر سريان المياه فى المجرى المائى من أمام الهدار إلى خلف الهدار وتستعمل الهدارات لعدة أغراض كقياس التصرف فى المجرى المائى أو تقليل ميل سطح المياه فى المجرى المائى أو تحويل جزء من التصرف إلى مجرى أخر أو توزيع التصرفات بين مجموعة من الترع الفرعية التى تتغذى من ترعة رئيسية واحدة.

٤-٢ أنواع الهدارات
تقسم الهدارات لعدة أنواع تبعا لشكل عتب الهدار فى إتجاه عمودى على إتجاه السريان وتبعا لشكل قطاع الهدار فى إتجاه السريان وكذلك تبعا لطبيعة السريان (مناسيب المياه أمام وخلف الهدار).

٤-٢-١ أنواع الهدارات طبقا لشكل عتب الهدار

٤-٢-١-١ هدار مستطيل
وهو هدار عتبه على شكل مستطيل.

٤-٢-١-٢ هدار مثلثى
وهو هدار حاد ذو عتب يشكل جانبه زاوية رأسها إلى أسفل ومنسوب العتب هو رأس الزاوية المقلوبة.

٤-٢-١-٣ هدار كيبوليتى Cipolletti or Trapezoidal Weir
وهو هدار ذو عتب حاد بشكل شبه منحرف وكل من جانبيه يميل بنسبة ١ (أفقى) إلى ٤ (رأسى).

٤-٢-١-٤ هدار دائرى
وهو هدار عتبه بشكل قوس دائرى غالبا (بصورة نصف دائرة).

٤-٢-١-٥ هدار قطع مكافئ
وهو هدار تحدد فتحته من الجانبين بشكل قطع مكافئ.

٤-٢-٢ أنواع الهدارات طبقا لعرض العتب وشكل قطاع الهدار

٤-٢-٢-١ هدار حاد العتب Sharp Crested Weir
وهو هدار يتكون من لوح رأسى رفيع يندفع مقذوف الماء فوق عتبه وغالبا ما يستعمل فى قياس التصرفات الصغيرة.

٤-٢-٢-٢ هدار أصم ضيق العتب Solid-Narrow-Crested Weir
وهو هدار يتكون من حائط مائل للأمام أو للخلف بالنسبة لقاع المجرى المائى ومن أمثلته الهدار طراز الفيوم Fayoum-Type Weir .

٤-٢-٢-٣ هدار أصم عريض العتب Solid-Broad-Crested Weir

وهو هدار يتدفق فوقه الماء له عتب أفقى أو مائل ميلا خفيفا وطول العتب فى إتجاه السريان أكبر من إرتفاع الضاغط المائى فى الأمام (الفارق بين منسوب المياه فى الأمام ومنسوب عتب الهدار). ومن أنواعه الهدار ذو الموجة المستقرة Standing Wave Weir .

٤-٢-٢-٤ هدار أوجى Ogee Weir

وهو هدار ذو قطاع منحنى يقارب شكل إنحناءة السطح السفلى لمقذوف الماء الحر فوق عتب هدار مستطيل حاد ويستعمل بكثرة فى مفيضات السدود.

٤-٢-٣ أنواع الهدارات طبقا لطبيعة السريان ومناسيب المياه فى الأمام والخلف

٤-٢-٣-١ هدار حر السريان Free Flow Over Weir

وفيه يكون منسوب الماء فى الخلف أقل من منسوب عتب الهدار ويتأثر تصرف الهدار بمنسوب الماء فى الأمام فقط.

٤-٢-٣-٢ هدار مغمور Submerged or Drowned Weir

وفيه يكون منسوب الماء فى الخلف مساويا أو أعلى من منسوب عتب الهدار وفى هذه الحالة يتأثر تصرف الهدار بكل من منسوبى المياه فى الأمام والخلف.

وتوضح الأشكال (٤-١) حتى (٤-٥) أنواعا مختلفة من الهدارات حيث يوضح الشكل (٤-١) قطاعا طوليا فى هدار حر ضيق العتب طراز الفيوم ويوضح الشكل (٤-٢) قطاعا طوليا لهدار عريض العتب من النوع ذى الموجة المستقرة ويوضح الشكل (٤-٣) تخطيطا لهدار حاد العتب مبين علية السطحان السفلى والعلوى لمقذوف الماء فوق عتب الهدار ويوضح الشكل (٤-٤) قطاعا طوليا فى الهدار المنحنى طراز أوجى ويوضح الشكل (٤-٥) قطاعا طوليا فى هدار مدرج Stepped Weir وهو يستخدم عندما يكون فارق المناسيب بين الأمام والخلف كبيرا.

٤-٣ وظيفة الهدارات فى شبكة الرى

تستخدم الهدارات فى شبكة الرى للأغراض الرئيسية التالية:

٤-٣-١ حالة سقوط مفاجئ فى مناسيب المياه

تستخدم الهدارات فى حالة حدوث هبوط مفاجئ فى مناسيب الأرض الطبيعية يتبعه سقوط مفاجئ فى مناسيب سطح المياه كما هو موضح بالشكل (٤-٦) وتعمل الهدارات فى هذه الحالة على منع تآكل قاع وجوانب المجرى المائى وتسمى هذه الهدارات أحيانا بمساقط الترع Canal Falls .

٤-٣-٢ تقليل إنحدارات سطح المياه

تنشأ الهدارات على القنوات المائية شديدة الإنحدار للمحافظة على ميل معتدل لسطح المياه يعمل على تقليل سرعة المياه للحدود الآمنة مما يمنع عملية نحر القاع والجوانب وتحسب المسافة (L) بين الهدارات كما هو موضح بالشكل (٤-٧) من المعادلة التالية :

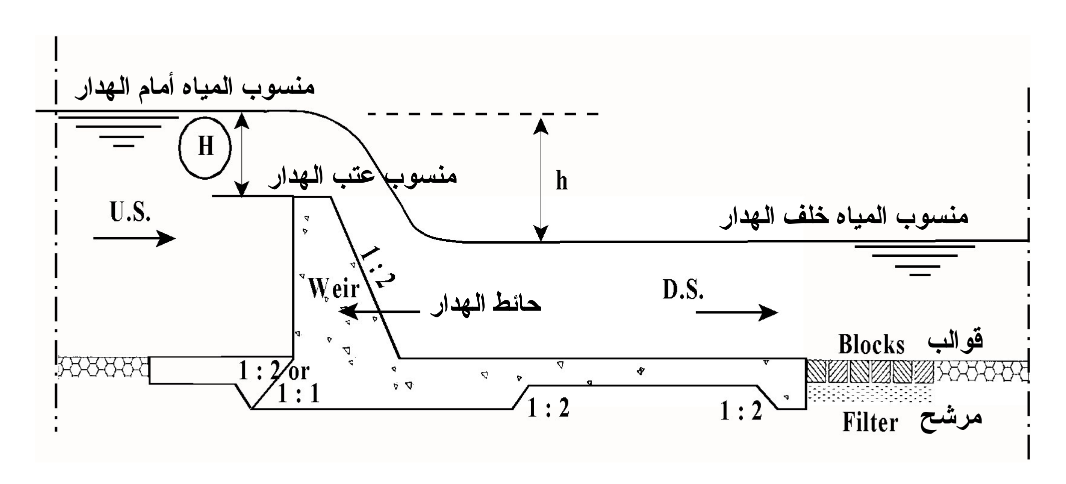
$$L = R / (S_2 - S_1) \qquad (4\text{-}1)$$

حيث
R = السقوط الرأسى فى سطح المياه عند موقع الهدار (الفارق فى عمق المياه أمام الهدار فى حالة إنشاء هدار من عدمه)
S_1 = الإنحدار المسموح به لسطح المياه للحصول على سرعة آمنة
S_2 = الإنحدار السائد لسطح الأرض

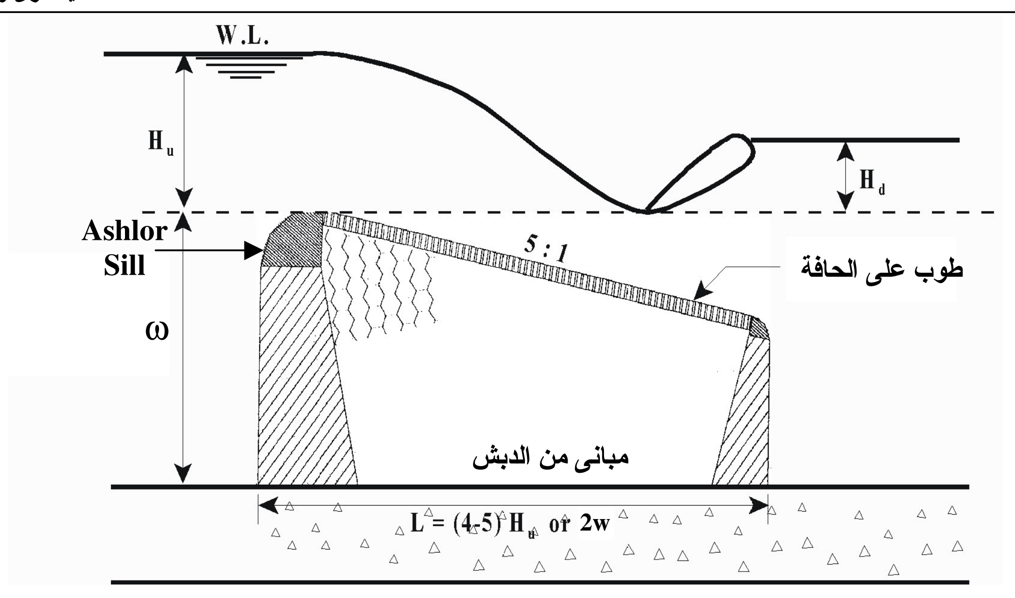
وتستعمل الهدارات فى محافظة الفيوم لتقليل إنحدارات المياه من نحو ٧٠ سم / كم إلى الإنحدارات الأقل الآمنة فى المنطقة (١٠ - ٢٠) سم / كم.

٤-٣-٣ هدارات قياس التصرفات

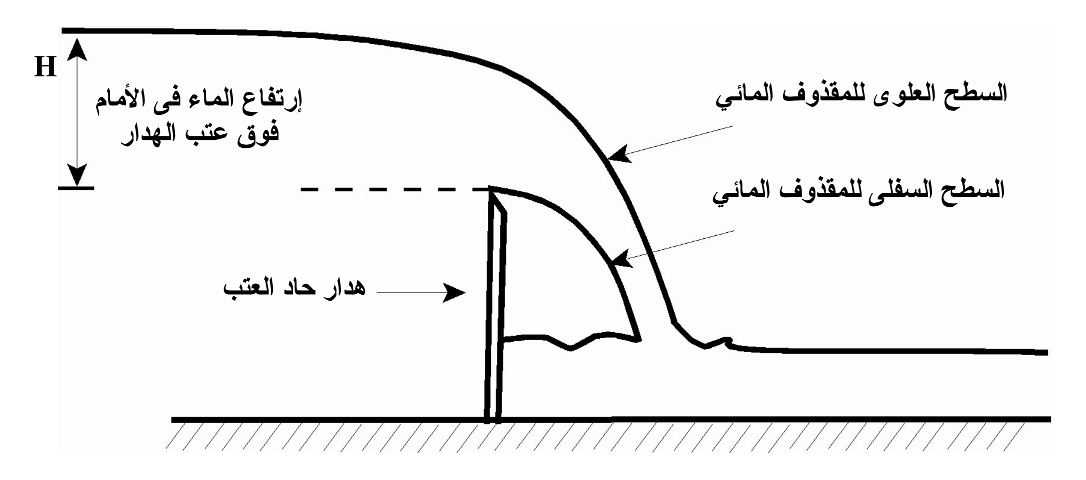
تنشأ الهدارات لقياس التصرف المار فى القنوات المائية ويعتمد التصرف المار فوق عتب الهدار على طبيعة السريان فوق الهدار. فى حالة الهدارات الحرة يعتمد التصرف على منسوب واحد فقط هو إرتفاع المياه فى الأمام فوق منسوب عتب الهدار (H_u) بينما يعتمد التصرف فوق منسوب عتب الهدار المغمور على كل من إرتفاع منسوب المياه بالأمام (H_u) والخلف (H_d) فوق منسوب عتب الهدار وتعرف النسبة المئوية $[(H_d/H_u)100]$ بنسبة الغمر ويمكن استعمال معادلة التصرف للهدار الحر للهدارات المغمورة إذا لم تتعد نسبة الغمر حدود معينة. ويوضح الشكل (٤-٨) السريان الحر والسريان المغمور فوق الهدارات.



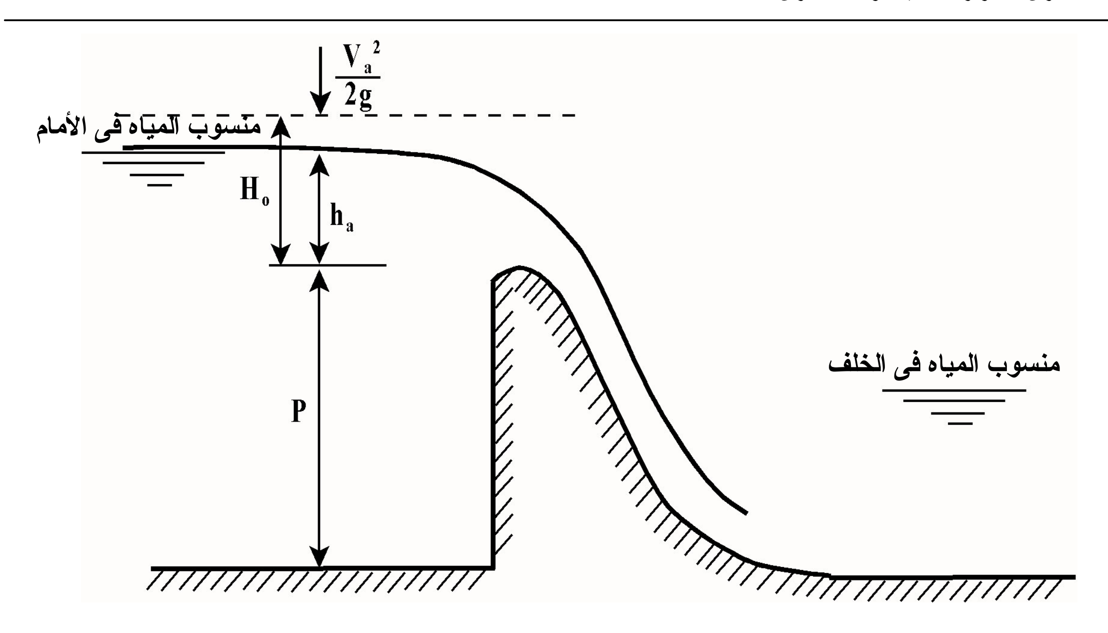
شكل (٤-١) قطاع طولى فى هدار ضيق العتب (طراز الفيوم)



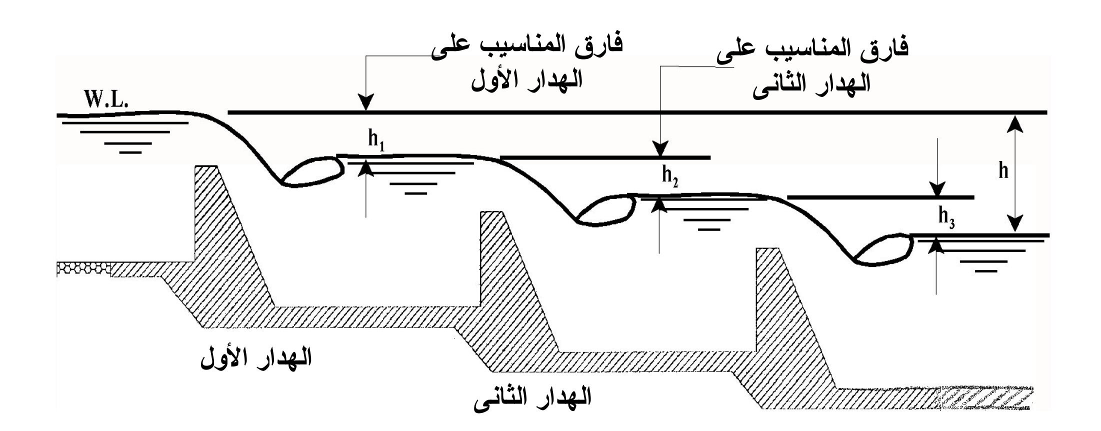
شكل (٤-٢) قطاع طولى لهدار عريض (ذى الموجة المستقرة)



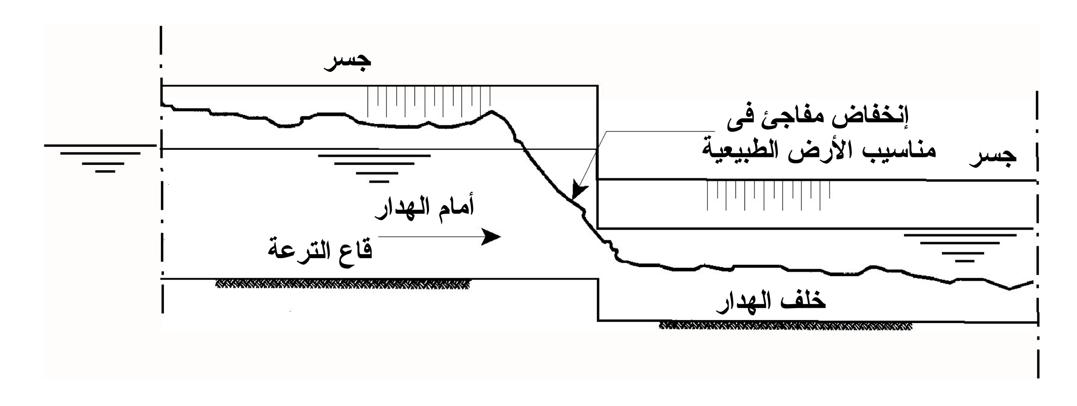
شكل (٤-٣) رسم تخطيطى لهدار حاد العتب



شكل (٤-٤) قطاع طولى تخطيطى لهدار أوجى



شكل (٤-٥) رسم تخطيطى لهدار مدرج



شكل (٤-٦) رسم تخطيطى لهبوط مفاجئ فى قاع الترعة

٤-٣-٤ هدارات التحكم فى توزيع المياه

يمكن إنشاء مجموعة من الهدارات لتوزيع مياه الترعة الرئيسية إلى عدد من الترع الفرعية مثل (النصبات) فى محافظة الفيوم حيث تعمل أعتاب الهدارات المختلفة على منسوب واحد ثابت وفى هذه الحالة تتناسب التصرفات المارة إلى الترع الفرعية مع عروض الهدارات المنشأة على هذه الترع وذلك لثبات منسوب الأمام وبالتالى الضاغط المائى فوق أعتاب جميع هذه الهدارات كما هو موضح بالشكل (٤-٩).

٤-٣-٥ هدارات تقليل فارق التوازن على القناطر

ينشأ هذا النوع من الهدارات عندما يكون فارق التوازن على القناطر كبيرا (السقوط الرأسى بين مناسيب المياه أمام وخلف القنطرة). ويوضع الهدار خلف القنطرة كما هو مبين بالشكل (٤-١٠) بحيث تكون المسافة بين القنطرة والهدار والمسماة بالحوض (Basin) مملوءة بالمياه فى جميع الحالات. ويجب أن يزود الهدار بأنبوب تفريغ لتصريف محتوى الحوض من المياه فى حالة الضرورة.

٤-٣-٦ هدارات تصريف المياه الزائدة فى الترع

ينشأ هدار (مفيض) عند نهاية كل ترعة كما هو موضح بالشكل (٤-١١) لتهريب المياه الزائدة مع المحافظة على منسوب ثابت للمياه فى نهاية الترعة. ويكون شكل الهدار فى المسقط الأفقى دائريا أو مستطيلا ويصمم بحيث يتدفق الماء فوق ثلاثة أرباع محيطه عند التشغيل وتسمى هذه الهدارات (مصبات نهاية) ويمكن إنشاء هدارات تصريف للمياه الزائدة عند قطاعات معينة على طول الترعة تسمى فى هذه الحالة (مفيض تخفيف).

٤-٣-٧ هدارات تعمل كمصائد للرمال والترسبات

تنشأ الهدارات الغاطسة بإرتفاع أقل من عمق المياه أمام مداخل الترع وأمام قناطر الأفمام كما هو موضح بالشكل (٤-١٢) لتعمل كحاجز للرمال والمواد الرسوبية الأخرى (Sand Screen or Silt Excluder) ومن الأمور التى تتبع فى إنشاء هذه الهدارات أن يكون إرتفاع المياه فوق عتب الهدار أكبر من ٤/١ عمق المياه أمام قناطر الأفمام كما ينبغى ألا تتعدى سرعة المياه فوق منسوب العتب سرعة المياه فى الترعة المغذية.

٤-٤ معادلات التصرف للهدارات

يعتمد التصرف المار فوق عتب الهدار فى حالة السريان الحر على مقدار الضاغط المائى H الذى يعرف بالفارق بين منسوب المياه أمام الهدار ومنسوب عتب الهدار نفسه.

٤-٤-١ الهدار المستطيل

يحسب تصرف الهدار المستطيل من المعادلة التالية

$$Q = \frac{2}{3} C_d \, B \sqrt{2g} \, H^{3/2} \qquad (4-2)$$

حيث

Q = تصرف الهدار (متر ^{3} / ثانية)

B = عرض الهدار فى إتجاه عمودى على إتجاه السريان (متر)

H = الضاغط المائى على عتب الهدار (متر)

C_d = معامل التصرف وتتوقف قيمته على مقدار الضاغط المائى ويمكن إيجاد قيمته عمليا

g = عجلة الجاذبية الأرضية وتساوى ٩,٨١ (متر / ثانية ^{2})

٤-٤-٢ الهدار المثلثى

يحسب تصرف الهدار المثلثى من المعادلة التالية

$$Q = \frac{8}{15} C_d \sqrt{2g} \, Tan\, (\theta / 2)\, H^{5/2} \qquad (4\text{-}3)$$

حيث

θ = زاوية رأس مثلث الهدار

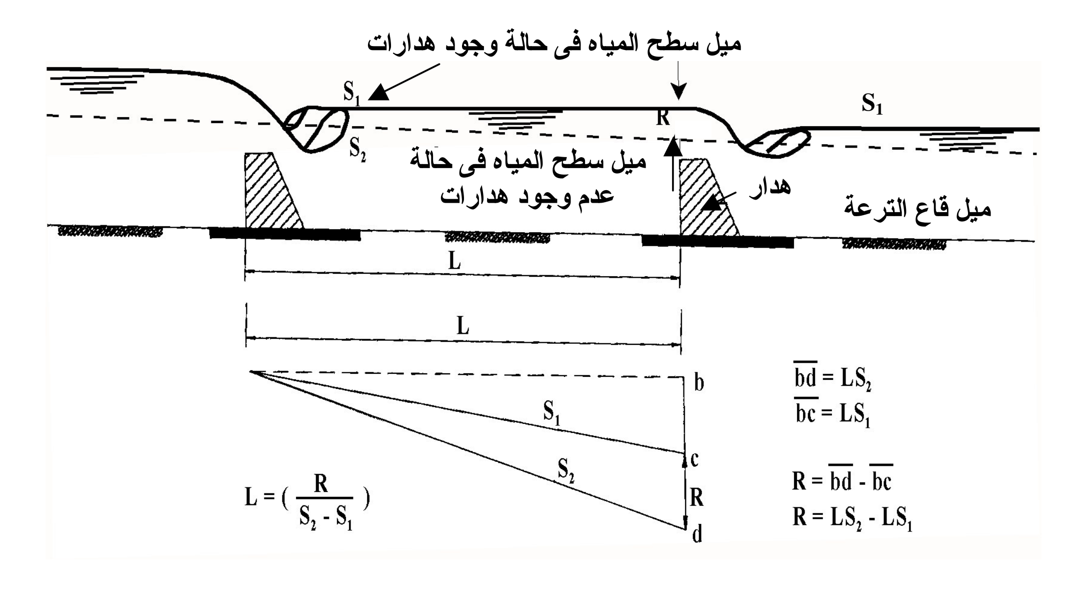
وتعرف بقية المتغيرات C_d, g, H, Q كالسابق غير أن قيمة معامل التصرف لهذا النوع من الهدارات تكون ثابتة وتساوى نحو ٠,٦٠ ومن المفضل أن تؤخذ زاوية الرأس ($\theta = 90^0$). ويعتبر هذا الهدار مناسبا لقياس التصرفات الصغيرة بدقة عالية.

٤-٤-٣ الهدار عريض العتب (ذو الموجه المستقرة)

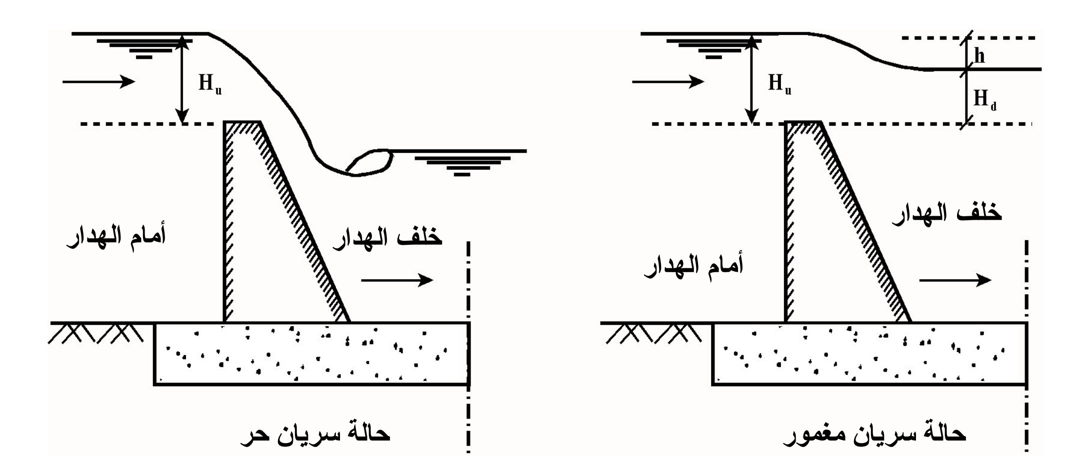
بالرجوع إلى الشكل (٤-٢) يحســب تصرف الهدار عريض العتب (ذى الموجه المستقرة) من المعادلة (٤-٤) .

$$Q = C\, B\, H^{1.6} \qquad (4\text{-}4)$$

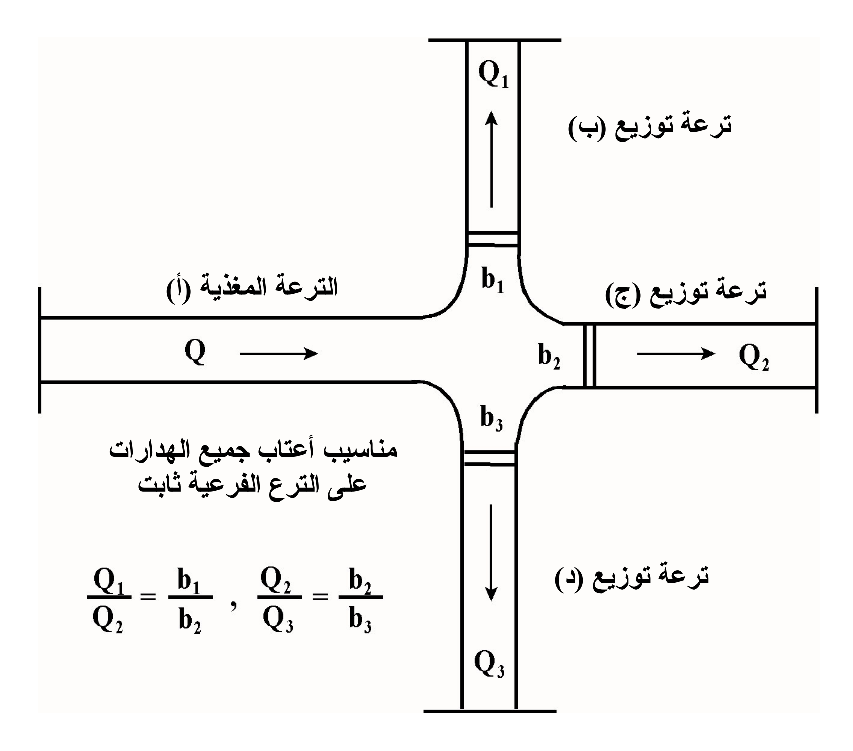
وتؤخذ قيمة المعامل C لتساوى (٢) طالما كانت نسبة الغمر أقل من ٧٥ % .



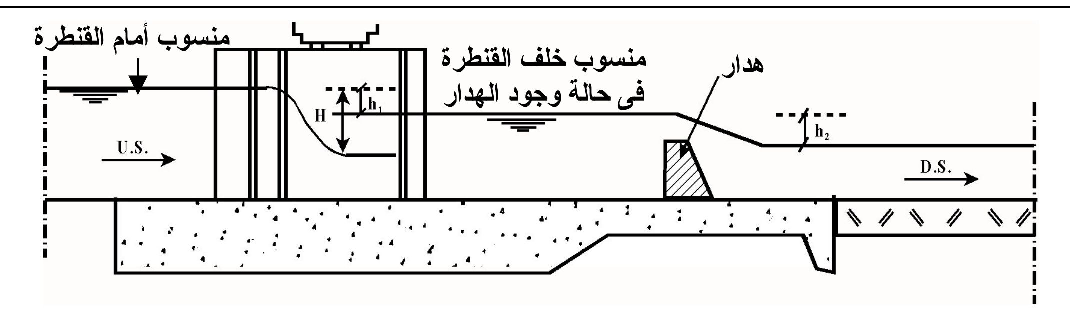
شكل (٤-٧) رسم تخطيطى يوضح المسافة بين هدارات تقليل إنحدار سطح المياه فى الترع شديدة الإنحدار



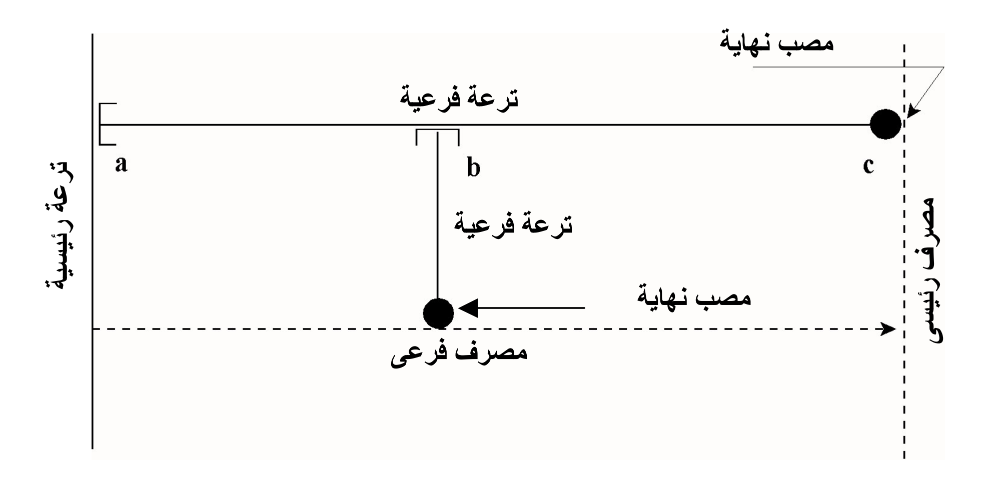
شكل (٤-٨) السريان الحر والسريان المغمور فوق الهدارات



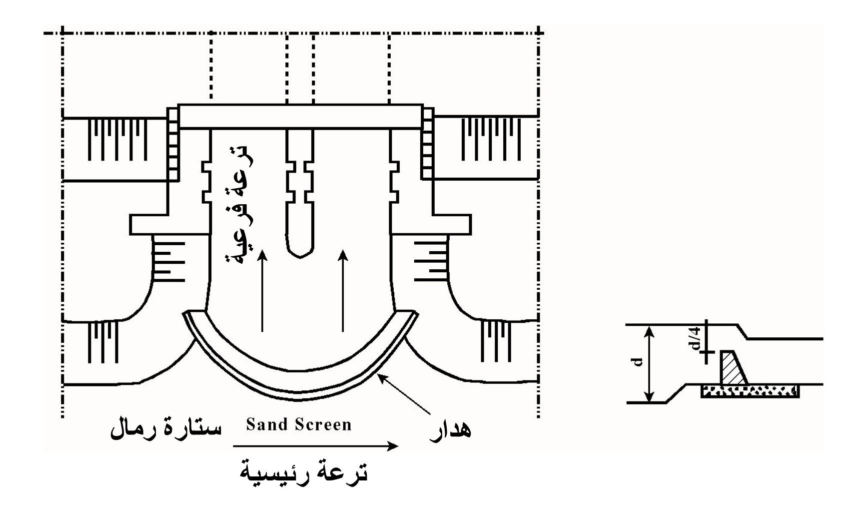
شكل (٤-٩) نظام توزيع المياه فى محافظة الفيوم المعروف بالنصبة



شكل (٤-١٠) هدار غاطس لتقليل فارق التوازن على قنطرة



شكل (٤-١١) رسم تخطيطى يوضح عمل المفيض بتصريف المياه الزائدة فى نهايات الترع



شكل (٤-١٢) إستخدام الهدارات كحواجز للرمال أمام قناطر الأفمام على ألا يقل إرتفاع المياه فوق العتب عن ربع عمق المياه أمام القنطرة

٤-٤-٤ الهدار ضيق العتب طراز الفيوم

يحسب تصرف الهدار ضيق العتب طراز الفيوم فى حالة السريان الحر من المعادلة (٤-٥).

For $H \leq 0.14$ m $\quad Q = B\,(1.652\,H_u^{1.54})$ (4-5a)

For $H > 0.14$ m $\quad Q = B\,(1.956\,H_u^{1.72} + 0.014)$ (4-5b)

ويلاحظ فى إستخدام معادلات التصرف للهدارات ما يلى :

أولا : لدقة إستخدام معادلات التصرف فى حالة الهدارات المستطيلة ينبغى عمل الترتيبات اللازمة لتهوية المنطقة المحصورة بين السطح السفلى لمقذوف الماء الحر فوق عتب الهدار وجسم الهدار نفسه وسطح الماء خلف الهدار ليكون ضغط الهواء مساويا للضغط الجوى ويتأتى ذلك إما بعمل مواسير هواء جانبية إذا كان عرض الهدار فى إتجاه عمودى على إتجاه السريان مساويا لكامل عرض الترعة بين الأكتاف الجانبية للهدار أو بأن يكون عرض الهدار أقل من عرض الترعة عن طريق عمل حوائط رأسية على جانبى عتب الهدار بإرتفاع يصل لمستوى الأكتاف.

ثانيا : يمكن أخذ تأثير سرعة إقتراب المياه من الهدار (V) بعين الإعتبار فى معادلات التصرف وذلك بالتعويض عن قيمة الضاغط المائى ($H_0 = H_u + V^2 / 2g$) بدلا من (H_u) حيث تحسب سرعة الإقتراب من المعادلة (٤-٦).

$$V = Q / A \qquad (4\text{-}6)$$

حيث

A = مساحة قطاع الترعة أمام الهدار

ثالثا : لإتمام التصميم الهيدروليكى للهدارات يجب توفر المعلومات الأساسية التالية :

- معلومات عن القطاع الطولى للقناه وتشمل العمق الأقصى والعمق الأدنى للمياه التى تقابل التصرف الأقصى والأدنى فى القناة.
- القطاع العرضى للقناه عند موقع الهدار.

رابعا : لتحديد منسوب عتب الهدار يتم إختيار إرتفاع الضاغط المائى المناسب H بإعتبار التصرف الأقصى المار فى القناه ويمكن بالتالى تحديد منسوب عتب الهدار بطرح الإرتفاع H من المنسوب الأقصى للمياه أمام الهدار. ويتم تحديد عرض الهدار B بإستخدام معادلة التصرف المناسبة لنوع الهدار.

خامسا : لتجنب حدوث سريان مغمور للهدار يختار منسوب فرش الهدار فى الخلف بحيث لا يتعدى منسوب المياه فى الخلف منسوب عتب الهدار (منسوب المياه فى الخلف = منسوب فرش الهدار فى الخلف + عمق المياه المقابل لأقصى تصرف) ويؤخذ فى حساب عمق المياه خلف الهدار تأثير منحنيات الرجوع (Back Water Curves) لأى هدارات أخرى تتواجد خلف الهدار محل الإعتبار.

٤-٥ تسرب المياه تحت فرش الهدار

تتعرض منشآت التحكم المؤسسة على تربة مسامية لرشح وتسرب المياه Percolation تحت فروشات هذه المنشآت نتيجة لوجود إختلاف بين أعماق المياه فى الأمام والخلف (إتجاه التسرب تحت فرش المنشأ من الأمام إلى الخلف). ويتعرض فرش هذه المنشـــآت إلى ضغوط هيدروســـتاتيكية من أســـفل لأعلـــى Uplift Pressure كما قد تسبب زيادة الميل الهيدروليكى عند نهاية الفرش زيادة سرعة خروج الماء فى هذه المنطقة وحدوث ظاهرة فوران التربة Piping .

٤-٥-١ طول مسار التسرب بإستخدام "معادلات بلاى ولين"

يمكن تعيين طول مسار التسرب Percolation Length بإستعمال "معادلة بلاى" Bligh أو "معادلة لين" Lane على الصورة التالية :

$$L = c\ h \qquad (4\text{-}7)$$

حيث

L = طول مسار التسرب

h = قيمة الضاغط المائى الأقصى = الفرق الأقصى بين منسوبى الماء بالأمام والخلف وعادة ما تؤخذ الحالة الحرجة عندما يكون منسوب الماء فى الأمام هو منسوب عتب الهدار ومنسوب الماء فى الخلف هو منسوب الفرش

c = معامل يعتمد على نوع التربة أسفل الفرش

ويوضح الشكل (٤-١٣) طول مسار التسرب تحت فرش هدار ويوضح الشكل (٤-١٤) إضافة الستائر المعدنية لزيادة طول مسار التسرب.

٤-٥-١-١ معادلة بلاى Bligh

اعتبر بلاى أن طول مسار التسرب يساوى الطول الأفقى للفرش المصمت أسفل الهدار L_H مضافا إليه ضعف سمك الفرش وضعف طول الستائر لمعدنية (L_V) وبالتالى فإن :

$$L_B = C_B\ h \qquad (4\text{-}8)$$

حيث

L_B = طول مسار التسرب حسب مبدأ بلاى ($L_H + 2L_V$)

C_B = معامل بلاى كما هو موضح بالجدول رقم (٤-١)

٤-٥-١-٢ معادلة لين Lane

يحسب طول مسار التسرب حسب معادلة لين على أنه مجموع ثلث الأطوال الأفقية مضافا إليه مجموع الأطوال الرأسية

$$L_L = C_L\ h \qquad (4\text{-}9)$$

حيث

L_L = طول مسار التسرب حسب مبدأ لين ($1/3\ L_H + L_V$) ويعتبر المسار رأسيا إذا زاد ميله عن ٤٥° مع الأفقى

C_L = معامل لين كما هو موضح بالجدول رقم (٤-١)

جدول (٤-١) قيم المعاملات C_L & C_B المستخدمة فى معادلات بلاى ولين لحساب طول مسار التسرب

C_L	C_B	نوع التربة	
٨,٥	١٨	Very fine sand or silt	رمل ناعم جدا أو سلت
٧	١٥	Fine sand	رمل ناعم
٦	-	Medium sand	رمل متوسط
٥	١٢	Coarse sand	رمل خشن
٤	-	Fine gravel	زلط ناعم
٣,٥	-	Medium gravel	زلط متوسط
-	٩	Gravel and sand	زلط ورمل
٣	-	Coarse gravel with cobbles	زلط خشن مع ركام
٢,٥	-	Boulders with cobbles & gravel	رجام مع ركام وزلط
-	٤ - ٦	Boulders, gravel and sand	رجام وزلط ورمل
٣	-	Soft clay	طين ناعم
١,٨	-	Medium clay	طين متوسط
١,٨	-	Hard clay	طين صلب
١,٦	-	Very hard clay or hardpan	طين شديد الصلابة

٤-٥-٢ شبكة السريان Flow Net

يوضح الشكل (٤-١٥) شبكة السريان تحت فرشة الهدار وهى تتكون من مجموعتين من المنحنيات الأولى تبين إتجاه السريان وتسمى بخطوط التدفق Stream Lines والثانية تعطى التدرج فى الضاغط الهيدروليكى من القيمة القصوى أمام الهدار إلى القيمة الصغرى خلف الهدار.

وترسم شبكة السريان للتربة المتجانسة بحيث تتعامد خطوط التدفق مع خطوط تدرج الضاغط الهيدروليكى Equipotential Lines لتكون مربعات منتظمة بقدر الإمكان. ويمكن تحديد قيمة الإنحدار الهيدروليكى عند أى نقطة فى الوسط المسامى تحت فرشة الهدار وذلك بقسمة التغير فى الضاغط الهيدروليكى عند المربع المناظر لهذه النقطة (Δh) على طول خط السريان لهذا المربع (ΔL) ولما كان التدرج فى الضاغط الهيدروليكى (Δh) ثابتا لكل الشبكة فإنه كلما قلت أبعاد المربع فى شبكة السريان كلما زادت قيمة الإنحدار الهيدروليكى.

ويمكن تحديد سرعة السريان عند آيه نقطة فى الوسط المسامى من تطبيق معادلة دارسى التى تعطى سرعة السريان (V) كحاصل ضرب معامل نفاذية التربة (K) والإنحدار الهيدروليكى لهذه النقطة (i) .

$$V = K.\ i \qquad (4\text{-}10)$$

ويتضح أيضا من الشكل (٤-١٥) أن أقصى سرعة لخروج المياه رأسيا لأعلى تكون عند نهاية الفرش من جهة الخلف. ويتضح أيضا أن الإنحدار الهيدروليكى ليس ثابتا على خط الزحف Creep Line (خط التلامس بين فرش الهدار والتربة الملاصقة له) كما هو الحال فى معادلة بلاى التى تفترض ثبات سرعة السريان وكذلك ثبات الإنحدار الهيدروليكى على خط الزحف والذى تعطى قيمته بالنسبة (h / L_B) .

٤-٥-٣ الإنحدار الهيدروليكى الحرج

يمكن حساب الإنحدار الهيدروليكى الأقصى عند نهاية فرش الهدار من جهة الخلف بإستعمال شبكة السريان. وتتعرض حبيبات التربة لظاهرة الفوران Piping عندما تتعدى قيمة الإنحدار الهيدروليكى الأقصى قيمة الإنحدار الهيدروليكى الحرج والتى تعطى بالمعادلة (٤-١١).

$$i_c = (G - 1) / (1 + e) \qquad (4\text{-}11)$$

حيث

i_c = الإنحدار الهيدروليكى الحرج

G = الوزن النوعى لحبيبات التربة Specific Gravity وتبلغ نحو ٢,٦٥ لحبيبات الرمل

e = نسبة الفراغات Void Ratio وتعرف كنسبة حجم الفراغات إلى حجم المواد الصلبة لوحدة الحجوم الكلية من التربة

٤-٥-٤ ضغط التعويم (الدفع من أسفل إلى أعلى) Uplift Pressure

يتعرض السطح السفلى لفرش الهدار لضغط من أسفل إلى أعلى نتيجة لتسرب المياه تحت الفرش ويقاوم هذا الضغط بتأثير وزن عمود الماء فوقه (إن وجد) وكذلك وزن الفرش الخرسانى نفسه. ويوضح الشكل (٤-١٦) توزيع ضغط التعويم لأعلى على فرش هدار مدرج معرض لعمق مياه فى الأمام (h_1) وعمق مياه فى الخلف (h_2) ويمكن التعبير عن قيمة الضغط لأعلى (h) بالمتر عند القطاع أ - أ بالمعادلة (٤-١٢)

$$h = t_2 + h_2 + h^{/} \qquad (4\text{-}12)$$

ويمكن بدراسة الإتزان الرأسى لوحدة المساحات من فرش الهدار حساب قيمة سمك الخرسانة العادية المطلوب لمقاومة قوى الدفع لأعلى وذلك من المعادلة (٤-١٣).

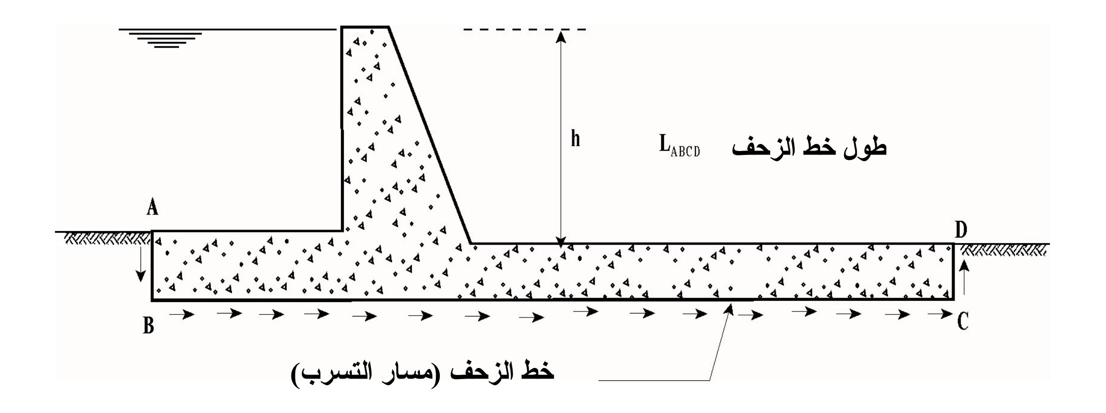
$$t = h^{/} / (\gamma_c - 1) \qquad (4\text{-}13)$$

حيث

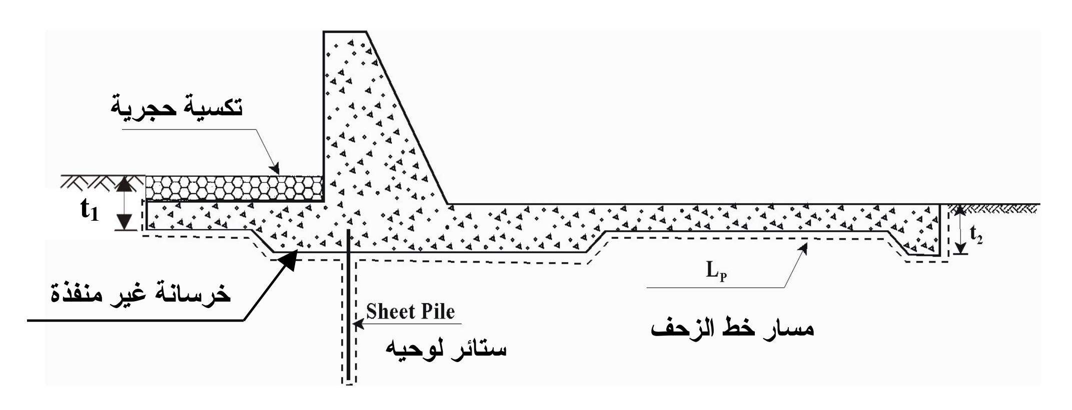
t = سمك الخرسانة العادية اللازمة لفرش الهدار عند القطاع الحرج

γ_c = الوزن النوعى للخرسانة العادية المستخدمة

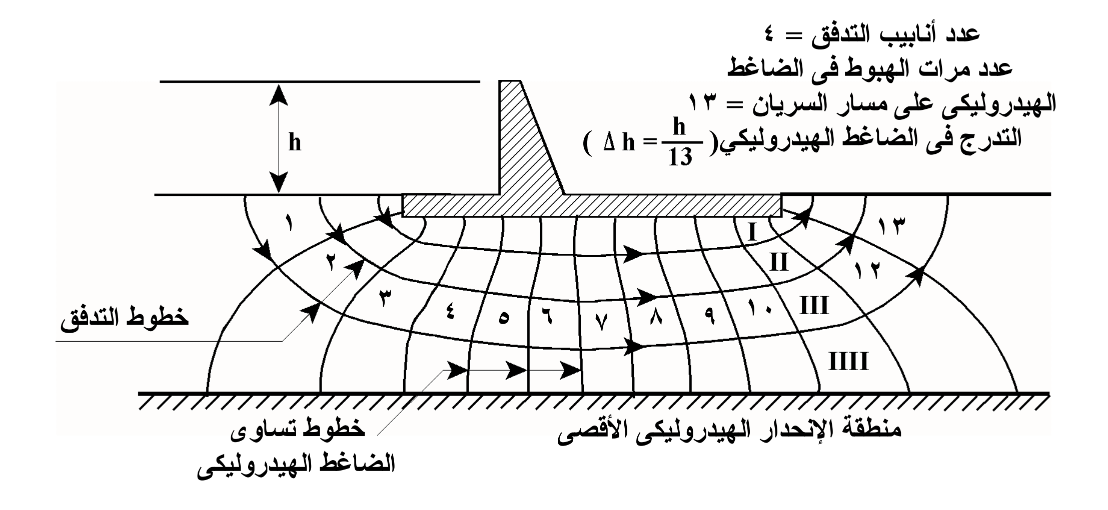
$h^{/}$ = الضاغط الهيدروليكى بالمتر كما هو معرف فى الشكل (٤-١٦)



شكل (٤-١٣) طول خط الزحف تحت فرش الهدار



شكل (٤-١٤) طول خط الزحف فى حالة إضافة ستائر لوحيه رأسية تحت فرش الهدار



شكل (٤-١٥) شبكة السريان تحت فرش الهدار

٤-٦ تصميم فرش الهدار

يصمم فرش الهدار بحيث يحقق المتطلبات التالية :

- أن يكون الفرش كافيا لمقاومة ظاهرة فوران التربة ونخربتها الناتجة عن تسرب المياه تحت تأثير فارق التوازن بين الأمام والخلف
- أن يكون طول الفرش كافيا لمنع تأكل القاع نظرا للسقوط الهادر للمياه
- أن يكون سمك الفرش كافيا للتغلب على ضغوط الدفع من أسفل لأعلى

٤-٦-١ طول الفرش اللازم لمقاومة النحر

نتيجة لسقوط المياه من فوق عتب الهدار تتزايد السرعات خلف الهدار وعلى إمتداد طول معين يعرف بمسافة النحر التى يعود بعدها توزيع السرعات إلى وضعه الطبيعي. ويتم حساب طول الفرش اللازم لمقاومة النحر L_S (المسافة من نهاية الهدار وحتى نهاية الفرش بالخلف) كما هو مبين بالشكل (٤-١٧) بإستخدام المعادلة الوضعية التالية :

$$L_S = 0.6\, C_B \sqrt{h_{max}} \qquad (4\text{-}14)$$

حيث

C_B = معامل بلاى للتسرب والمعطى فى الجدول (٤-١)

h_{max} = فارق التوازن الأقصى بين أمام وخلف الهدار

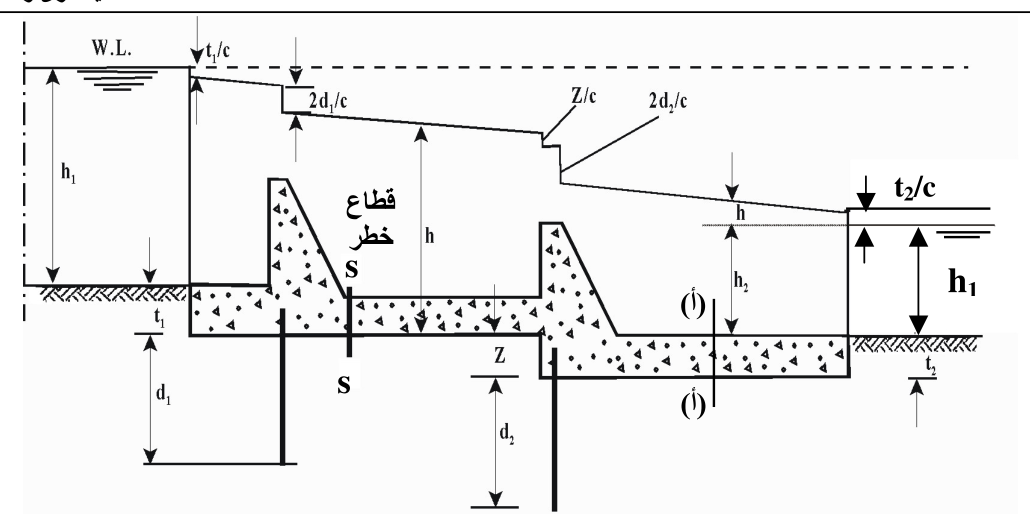
ويمكن لحماية القاع من آثار النحر إتباع أحد الوسائل الآتية :

- إنشاء ضفرة صغيرة End Sill بطرف فرش الهدار من الخلف كما هو موضح بالشكل (٤-١٨).
- خفض منسوب فرش الهدار تحت منسوب القاع للمساعدة فى تكوين القفزة الهيدروليكية بالقرب من قدمة الهدار.

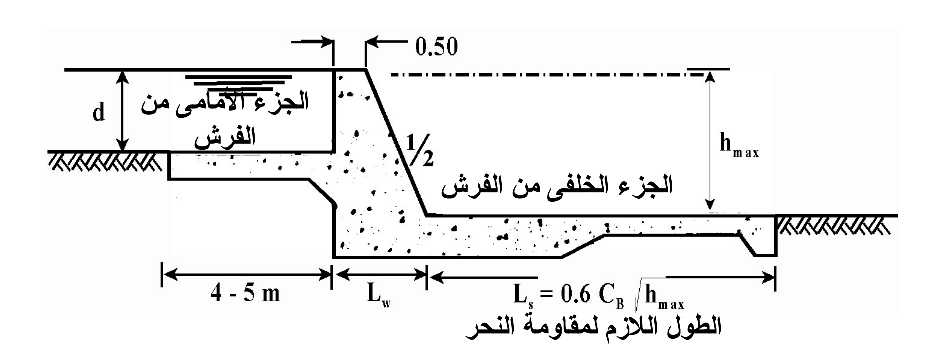
٤-٦-٢ طول الفرش اللازم لمقاومة فوران ونخربة التربة

يتم حساب طول الفرش اللازم لمقاومة فوران ونخربة التربة بإستخدام معادلة بلاى (٤-٨) أو معادلة لين (٤-٩) وتعد معادلة بلاى الأكثر إنتشارا فى الإستخدام. ويجب أخذ الإحتياطيات والإعتبارات التالية فى الحسبان :

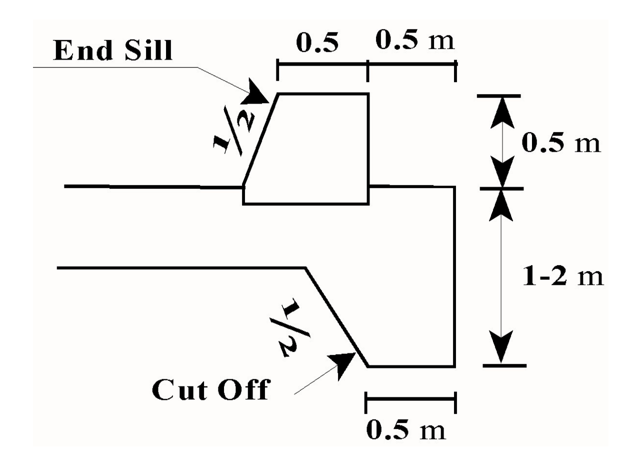
- يؤخذ جزء من طول الفرش أمام الهدار فى حدود (٤ - ٥) متر أو (ما يعادل نصف طول الفرش خلف الهدار) وذلك للتغلب على النحر أمام الهدار ولتخفيف الضغط من أسفل إلى أعلى فى القطاع الحرج خلف الهدار مباشرة.
- يجب ألا يقل طول الفرش خلف الهدار عن الطول اللازم لمقاومة النحر.
- لتقليل طول الفرش يمكن إستخدام الحوائط الرأسية القاطعة التى تعمل من الستائر اللوحية المعدنية أو الخرسانية أو تعمل من خنادق رأسية مملوءة بتربة مدموكة قليلة النفاذية. ويمكن عمل صفين أو أكثر من الستائر اللوحية مع مراعاة إختيار مسافة بينية مناسبة بين صفوف الستائر اللوحية كما هو مبين بالشكل (٤-١٩).



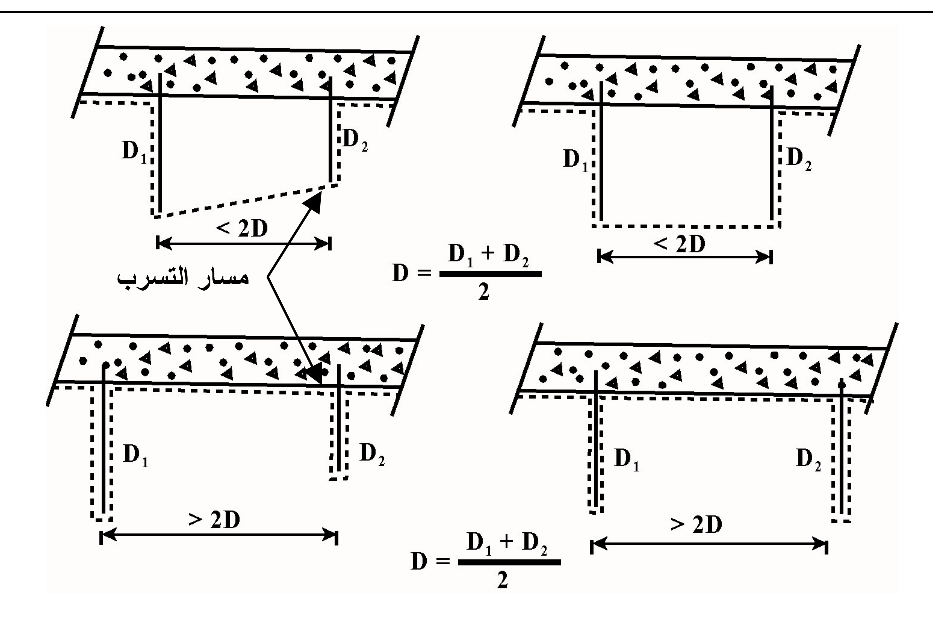
شكل (٤-١٦) ضغط التعويم من أسفل لأعلى على فرش هدار مدرج



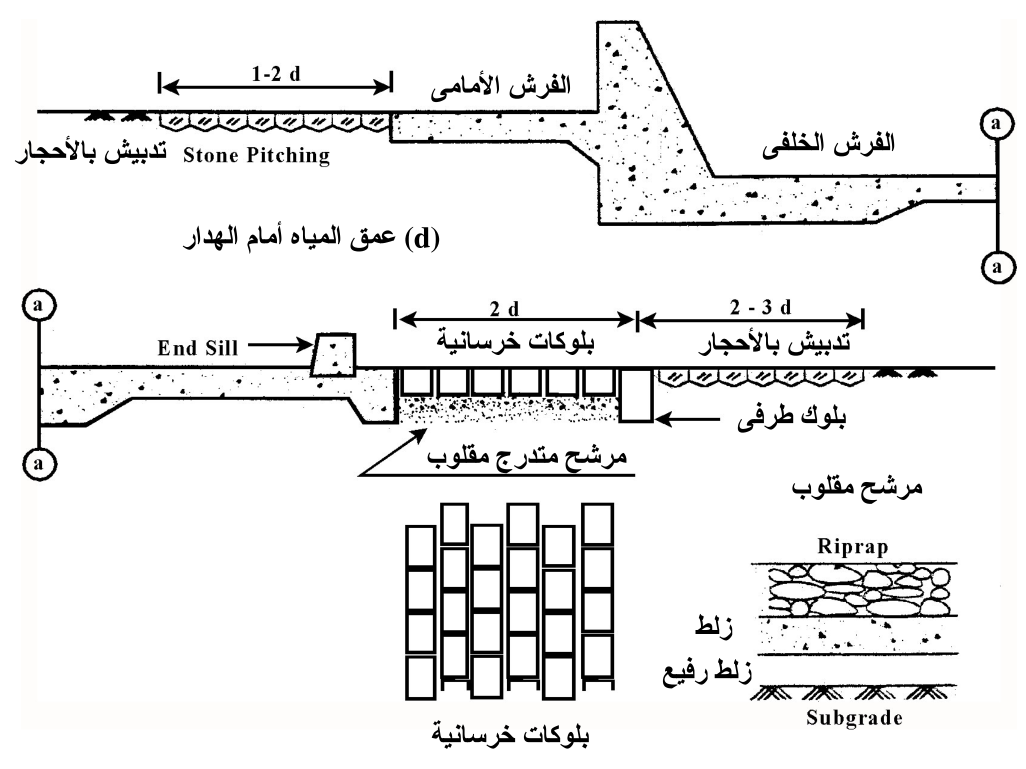
شكل (٤-١٧) طول الفرش اللازم لمقاومة النحر (L_S)



شكل (٤-١٨) الضفرة الخلفية بطرف فرش الهدار



شكل (٤-١٩) تأثير التباعد بين صفوف الستائر اللوحية على طول مسار التسرب تحت الفرش



شكل (٤-٢٠) ترتيب الجزء الخلفى بعد فرش الهدار من مواد غير متماسكة

٤-٦-٣ إستخدام المرشحات والبلوكات خلف فرش الهدار

يجب تأكيد الأمان ضد خلخلة التربة Under Mining وذلك بعمل الجزء الخلفى بعد الفرش من مواد متدرجة غير متماسكة تعمل على خروج مياه الرشح دون تحريك حبيبات القاع ويمكن الإختيار بين عدة بدائل كما هو موضح بالشكل (٤-٢٠).

* مرشحات مقلوبةInverted Filters من طبقات يزيد معامل نفاذيتها من أسفل إلى أعلى ويمكن الإسترشاد بأسماك الطبقات المختلفة التالية فى حالة الإنشاء فى ظروف الجفاف :
- طبقة رمل وزلط صغير بسمك لا يقل عن ٠,٠٥ - ٠,١٠ متر .
- طبقة زلط بسمك لا يقل عن ٠,١٠ - ٠,٢٠ متر .
- أحجار بسمك لا يقل عن ١,٥ إلى ٢,٠ قطر أكبر الأحجار المستخدمة.

* تكسيات حجرية على الناشف أو أحجار ملقاة Riprap .

* بلوكات خرسانية أسفلها فلتر وتستخدم فى المنشآت الكبيرة وتكون البلوكات سابقة الصب بأبعاد (١,٠٠ x ٠,٧٥ x ٠,٥٠) متر أو (٠,٧٥ x ٠,٧٥ x ٠,٥٠) متر. وتوضع البلوكات فى صفوف خلافية (Staggered) مع ترك مسافات بينية تتراوح ما بين (١ - ٣) سم .

* طبقة من الخرسانة العادية بسمك ٠,٥٠ متر مزودة بأنابيب رأسية بدلا من البلوكات وتعمل فوق طبقة من الزلط المتدرج.

٤-٦-٤ سمك الفرش من الخرسانة العادية
يحسب سمك الفرش من الخرسانة العادية بإستخدام المعادلة (٤-١٣) مع أخذ معامل آمان لا يقل عن ١,٣

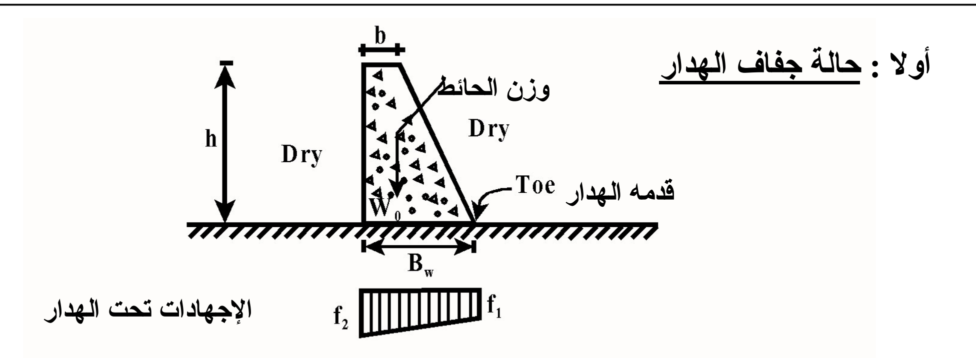
٤-٧ الإتزان الأستاتيكى لحائط الهدار
يصمم حائط الهدار (الهدار ضيق العتب طراز الفيوم) كحائط تثاقلى يعتمد على وزنه الذاتى فى الإتزان.

٤-٧-١ حالات التحميل
يوضح الشكل (٤-٢١) حالات التحميل والقوى الرئيسية المؤثرة على الهدار وينبغى مراجعة الإتزان الأستاتيكى لحائط الهدار لكل حالة على حدة من حيث قابلية الإنزلاق وقابلية الإنقلاب والتأكد من أن الإجهادات تحت حائط الهدار لا تتعدى تلك المسموح بها.

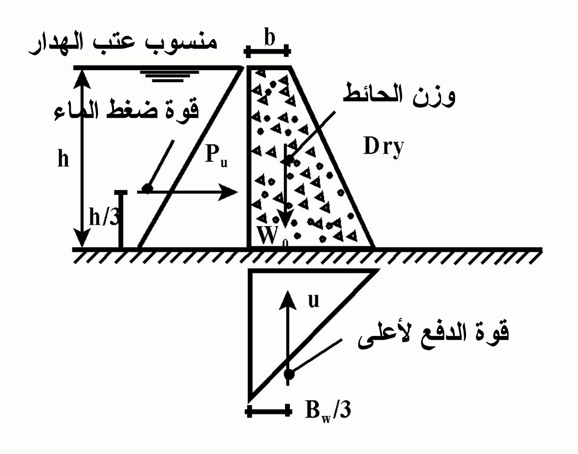
٤-٧-١-١ حالة الجفاف (الترعة خالية من المياه)
لا توجد فى هذه الحالة قوة ضغط مائية أفقية تؤثر على حائط الهدار ويصبح وزن الحائط (W_0) هو القوة الرأسية الوحيدة محل الإعتبار.

٤-٧-١-٢ حالة جفاف الخلف (المياه فى الأمام مع منسوب عتب الهدار)
فى هذه الحالة يكون الهدار معرضا لقوة ضغط الماء الأفقية من الأمام (P_u) ووزن الهدار رأسيا لأسفل (W_0) وقوة الدفع المؤثرة رأسيا من أسفل إلى أعلى (u) وغالبا ما تكون هذه الحالة هى الحالة الحرجة.

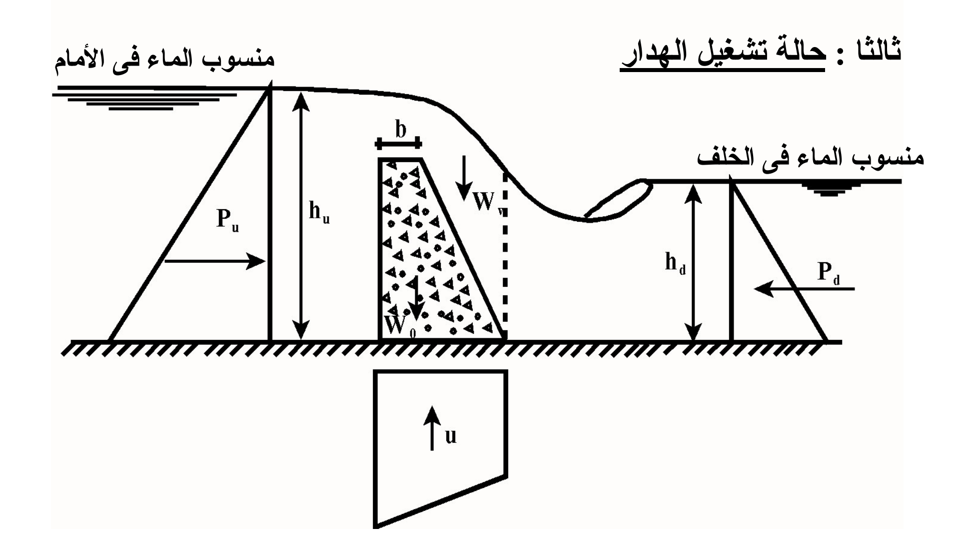
أولا : حالة جفاف الهدار



ثانيا : حالة جفاف خلف الهدار



ثالثا : حالة تشغيل الهدار



شكل (٤-٢١) حالات التحميل والقوى الرئيسية المؤثرة على الهدار

٤-٧-١-٣ حالة تشغيل الهدار

فى هذه الحالة يكون الهدار معرضا لقوة ضغط المياه الأفقية من الأمام (P_u) وقوة ضغط المياه الأفقية من الخلف (P_d) ووزن المياه فوق الهدار (W_w) ووزن الهدار (W_0) بالإضافة إلى قوة الدفع الرأسية من أسفل لأعلى (u) .

٤-٧-٢ الإتزان الكلى للهدار

٤-٧-٢-١ الإنهيار بالإنزلاق Sliding

يجب مراجعة الإنزلاق عند مستوى قدمة الهدار بحساب معامل الأمان ضد الإنزلاق FS_s والذى ينبغى أن تتعدى قيمته ١,٥ .

$$FS_s = F_{Resisting} / F_{Sliding} \qquad (4\text{-}15)$$

حيث

$F_{Sliding}$ = مجموع القوى الأفقية فوق مستوى الإنزلاق

$F_{Resisting}$ = مجموع القوى الرأسية مضروب فى معامل الإحتكاك (u) الذى تؤخذ قيمته بين حائط الهدار والفرش (٠,٥٠)

٤-٧-٢-٢ الإنهيار بالإنقلاب Overturning

يجب مراجعة الإنقلاب حول نقطة قدمة الهدار وذلك بحساب معامل الأمان ضد الإنقلاب FS_o والذى ينبغى أن تتعدى قيمته ١,٥ .

$$FS_o = \text{Resisting Moment} / \text{Overturning Moment} \qquad (4\text{-}16)$$

ويلاحظ أن محصلة فرق عزوم قوى ضغط الماء الأفقية تعمل على إنقلاب الهدار بينما يعمل العزم الناتج عن وزن الهدار على إتزان الهدار.

٤-٧-٢-٣ مراجعة الإجهادات تحت حائط الهدار

يجب التأكد من أن الإجهادات تحت حائط الهدار إجهادات ضغط وأن قيمتها تقل عن سعة الإحتمال لمادة فرش الهدار (f_{ult}) ويمكن حساب الإجهادات بدراسة إتزان وحدة الأطوال من الهدار عموديا على إتجاه السريان وبحساب المحصلة الكلية للقوى المؤثرة فوق مستوى دراسة الإجهادات (R) فإن المركبة الأفقية للمحصلة (R_H) تسبب إنزلاقا بينما تسبب المركبة الرأسية (R_v) والتى تمثل قوة ضاغطة عزم إنحناء (M_0) حول مركز ثقل قاعدة الهدار بسبب عدم تمركز المحصلة. وتعطى المعادلة (٤-١٧) الإجهادات المطلوبة

$$f_{\frac{1}{2}} = (N / B_w)\,(1 \pm (6.e) / B_w) \qquad (4\text{-}17)$$

حيث

f_1, f_2 = قيمتا الإجهاد الأقصى والأدنى عند النقاط الطرفية لقاعدة الهدار

B_w = عرض قاعدة الهدار عند مستوى الفرش

e = لاتمركزية محصلة القوى Eccentricity وتساوى (M_0 / R_v)

M_0 = عزم إنحناء القوى حول مركز ثقل القاعدة

N = القوة العمودية على القاعدة وتساوى المركبة الرأسية للمحصلة (R_v)

وإذا وقعت محصلة القوى فى الثلث الأوسط لقطاع قاعدة الهدار يكون القطاع بأكمله معرضا لإجهادات ضغط أما إذا وقعت المحصلة خارج الثلث الأوسط أصبح مجرد جزء من القطاع معرضا لإجهادات شد ويمكن فى هذه الحالة إعادة توزيع الإجهادات على القطاع لزيادة إجهادات الضغط ويعطى إجهاد الضغط الأفقى الاقصى فى هذه الحالة بالمعادلة (٤-١٨).

$$f_{max} = (2R_v) / (1.5\ B_w - 3\ e) \qquad (4\text{-}18)$$

ويؤخذ معامل أمان لا يقل عن ٢ عند مراجعة الإجهادات تحت حائط الهدار
أى أن $f_{max} \geq (f_{ult} / 2)$.

٤-٨ المراجع

1. Bos, M.G., " Discharge Measurement Structures". Third edition, ILRI Publication No.20, International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, the Netherlands, (1989).

2. El-Kateb, M.H., "Irrigation Design II: Weirs and Regulators". Class Notes. Cairo University, Faculty of Engineering, Giza, Egypt, (1984).

3. FAO, "Small Hydraulic Structures". Volumes (1) and (2), FAO Irrigation and Drainage Paper No. 26, Food and Agriculture Organization of the United Nation, Rome, Italy, (1982).

4. Leliavsky, S., "Weirs", Chapman and Hall, London, UK. (1981),

الباب الخامس
القناطر والبوابات Regulators and Gates

٥-١ تعريف
تعتبر القناطر من المنشآت الهيدروليكية التى تبنى على المجارى المائية بهدف التحكم فى مناسيب المياه أمامها والتصرفات المارة من خلال فتحاتها وتنشأ القناطر على نهر النيل والرياحات والترع الرئيسية والفرعية لتسهيل تغذية المجارى المائية وتوصيل مياه الرى إلى الأراضى الزراعية ولأغراض أخرى مثل توصيل مياه الشرب والصناعة أو لأغراض الملاحة ويوضح الشكل (٥-١) منظورا من جهة الأمام لنموذج لقنطرة صغيرة على مجرى مائى.

وتتكون القناطر من الأجزاء الرئيسية التالية : الدعامات الوسطية (البغال) ، الدعامات الطرفية (الأكتاف)، حوائط الأجنحة الأمامية والخلفية ، العناصر الإنشائية الحاملة للطريق فوق القناطر (عقود أو بلاطات خرسانية مسلحة وكمرات) ، الفرش تحت المنشأ وغالبا ما يزود بستائر حديدية أو حوائط قاطعة، بوابات حديدية تنزلق رأسيا داخل مجارى خاصة (درونحات) ويعمل عادة خط ثان من الدرونحات للاستخدام فى حالات الطوارئ والترميمات.

٥-٢ أنواع القناطر
يمكن تقسيم القناطر إلى الأنواع التالية تبعا لموقعها فى شبكة الرى:

٥-٢-١ قناطر كبرى على الأنهار
تنشأ هذه القناطر على الأنهار مثل نهر النيل بغرض التحكم فى التصرفات المارة من خلال فتحاتها ولرفع مناسيب المياه أمامها بالدرجة المناسبة لتغذية الرياحات والترع الكبرى المستخدمة أساسا لرى الأراضى الزراعية على أن تنفذ هذه الموازنات فى حدود فرق التوازن المسموح به فى تصميم هذه القناطر.

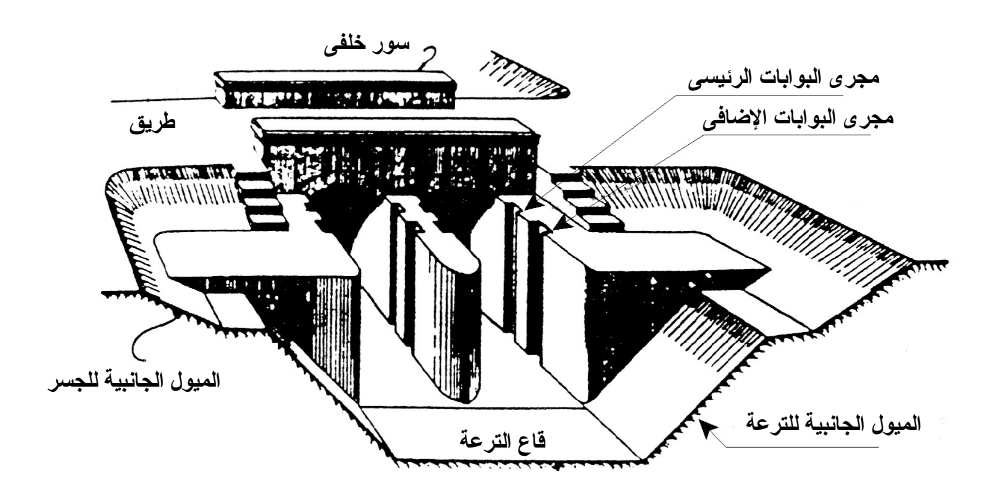
٥-٢-٢ قناطر الأفمام
تنشأ هذه القناطر عند مآخذ الترع أو الرياحات الآخذة من أمام القناطر الكبرى وذلك للتحكم فى مناسيب وتصرفات الخلف حسب السينوبتك ديجرام التصميمى لهذه الترع.

٥-٢-٣ قناطر الموازنة / قناطر الحجز
يتم إنشاء هذا النوع من القناطر على أحباس مختلفة على طول الترع خاصة عند حدوث تغيير فى التصرفات أو اختلاف القطاع المائى للترعة وذلك للتحكم فى مناسيب المياه وتنظيم السريان لتسهيل تغذية الترع الفرعية والجنابيات التى تأخذ مياهها من أمام هذه القناطر.

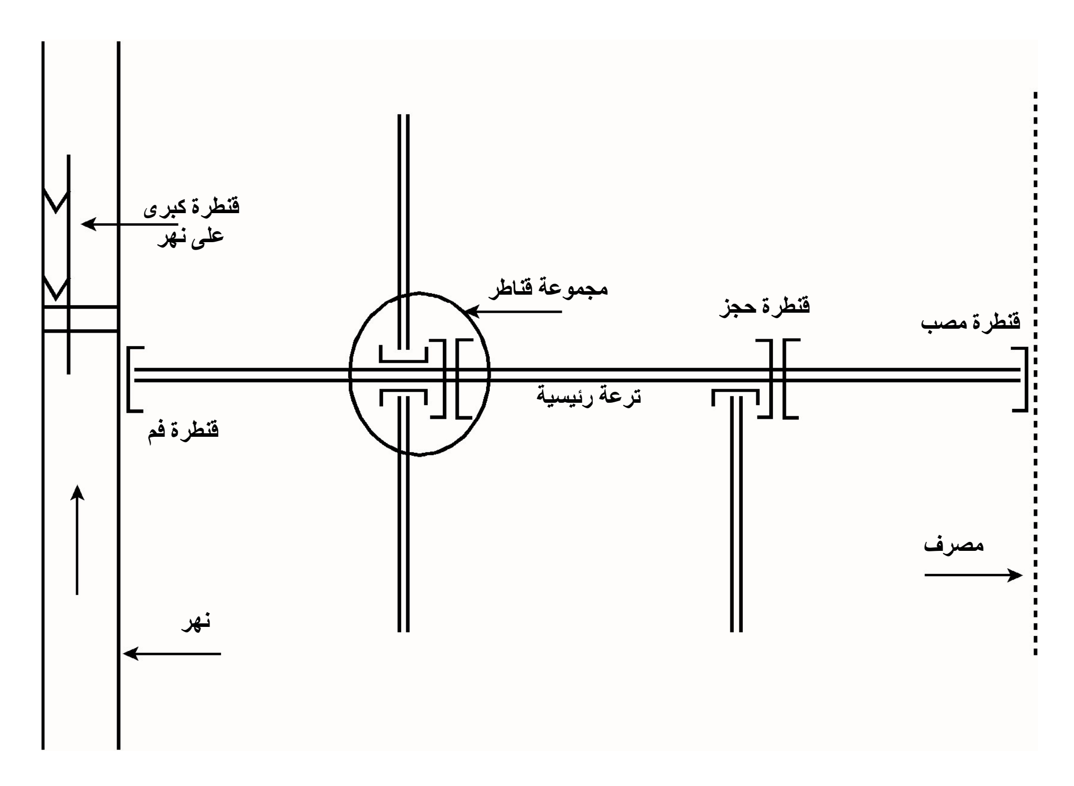
٥-٢-٤ قناطر المصب
تقام هذه القناطر عند نهايات الرياحات والترع الكبيرة للتحكم وتنظيم صرف المياه الزائدة عن احتياجات الرى إلى المصارف وكذلك المحافظة على منسوب المياه التصميمى والضرورى أمامها لضمان تواجد المياه بالحبس الأخير من الترعة على المناسيب اللازمة لرى الأراضى الزراعية المترتبة على هذا الحبس.

٥-٢-٥ مجموعة قناطر متعددة الأغراض فى موقع واحد

تنشأ مجموعة من القناطر متعددة الأغراض فى موقع واحد إحداها أساسية كقناطر حجز والأخريات قناطر فرعية للتوزيع.
ويوضح الشكل (٥-٢) المواقع المختلفة لكل من أنواع القناطر سالفة الذكر.



شكل (٥-١) نموذج لقنطرة صغيرة على مجرى مائي



شكل (٥-٢) رسم تخطيطى يوضح مواقع الأنواع المختلفة للقناطر

٥-٣ التأثير المتبادل بين المنشأ الهيدروليكى والمجرى المائى

٥-٣-١ تأثير المنشآت الهيدروليكية على المجارى المائية

٥-٣-١-١ التأثير على عمق ومناسيب المياه وسرعة التيار

يؤدى إنشاء القناطر بالمجارى المائية إلى وجود فرق بين منسوبى الماء المحتجز والماء الجارى الأصلى عند موقع القنطرة وعلى امتداد مسافة الماء المحتجز من جهة الأمام Back water curve length حيث يتغير عمق المياه وسرعة التيار كما تتغير المقاطع العرضية لمجرى النهر حيث تقل سرعة السريان كلما اقتربنا من المنشأ نتيجة لإرتفاع مناسيب المياه عن وضعها الأصلى قبل الإنشاء. ويوضح الشكل (٥-٣) أ ، ب ، ج هذه التأثيرات المختلفة.

٥-٣-١-٢ التأثير على مناسيب المياه الجوفية

يوضح الشكل (٥-٣) د المقطع العرضى للنهر وجانبيه فعند المستوى (I) للمياه قبل الإنشاء كان مستوى المياه الجوفية ممثلا بالمنحنى a c أما بعد احتجاز المياه أمام المنشأ وإرتفاع منسوب المياه بالنهر إلى المستوى (II) فإن مستوى المياه الجوفية يرتفع ويصبح ممثلا بالمنحنى $a^{/}$ c وقد يقترب الماء الجوفى بعد الإنشاء من سطح الأرض وتصبح التربة مشبعة بالمياه بدرجة تعوق العمليات الزراعية بالكامل.

ويسبب إرتفاع مناسيب المياه أمام المنشأ عنها خلفه إلى حدوث ظاهرة رشح المياه تحت أساس المنشأ شكل (٥-٣) هـ مما يتسبب فى فقدان جزء من المياه المحجوزة. كذلك تنشأ حركة للمياه الجوفية على امتداد ضفاف النهر بالالتفاف حول المنشأ شكل (٥-٣) و .

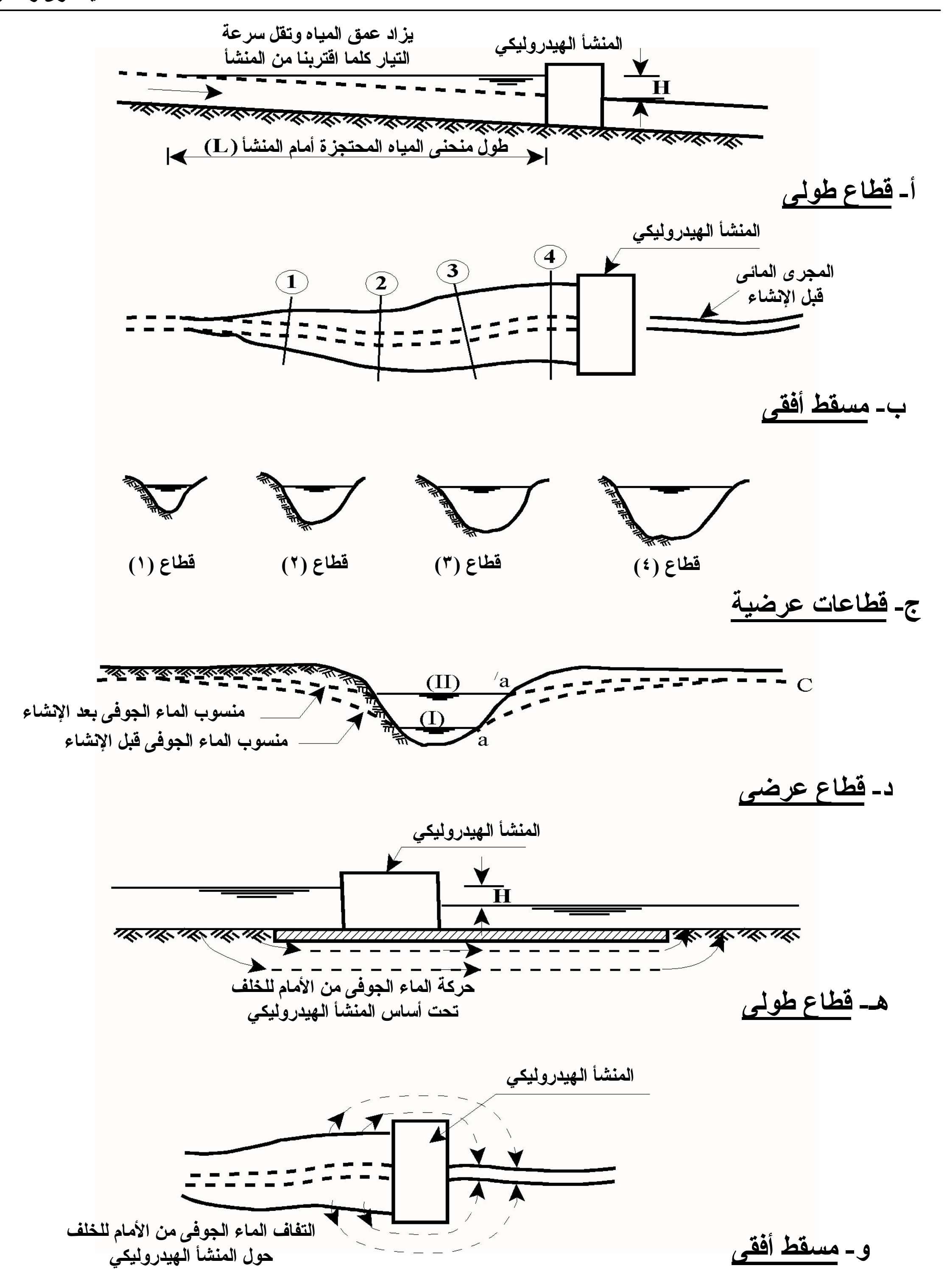
٥-٣-١-٣ التأثير على قابلية حمل المواد الرسوبية

نظرا للتغير التدريجى فى سرعة تيار المياه أمام المنشأ تتغير قابلية المياه لحمل المواد الرسوبية المسماة بالحمل العالق Suspended Load والرواسب المنقولة المتراكمة على قاع النهر والمسماة بالحمل القاعى Bed Load فكلما قلت سرعة المياه ترسبت الحبيبات الكبيرة فى البداية ثم تلتها الحبيبات الأقل حجما حيث تترسب بمحاذاة المنشأ أصغر الحبيبات لأن سرعة التيار تكون ضئيلة ويصبح الماء فى ذلك الموقع خاليا من الرواسب بدرجة كبيرة ومع مرور المياه الخالية من الرواسب من الأمام إلى خلف المنشأ فإن قدرتها على حمل الرواسب تؤدى إلى تجريف (نحر) التربة وتسبب انخفاضا عاما فى منسوب القاع خلف المنشأ.

٥-٣-٢ تأثير التيار المائى على المنشأ الهيدروليكى

٥-٣-٢-١ التأثيرات الميكانيكية

تتمثل هذه التأثيرات فى خلق ضغط أستاتيكى وضغط ديناميكى على سطح المنشأ وهناك أهمية كبيرة لقيمة المركبة الأفقية للضغط الأستاتيكى تعمل على زحزحة المنشأ أو إنقلابه أما الضغط الديناميكى فهو يتناسب مع سرعة التيار عادة ويظهر عند حدوث موجات ناشئة عن الرياح الشديدة على سطح الماء جهة الأمام وعند حدوث الزلازل والهزات الأرضية.



شكل (٥-٣) تأثير المنشآت الهيدروليكية الحاجزة للمياه على المجارى المائية

٥-٣-٢-٢ تأثير تسرب المياه تحت المنشأ

نفاذ المياه تحت أساس المنشأ الهيدروليكي يؤدى إلى حدوث الظواهر التالية :

أ- تسرب أو ضياع المياه من خزان الماء الأمامي.

ب- ضغط الماء المتسرب على قاعدة المنشأ من أسفل إلى أعلى مما يعمل على تخفيف وزن المنشأ.

ج- يجرف الماء المتسرب حبيبات التربة الناعمة خلف المنشأ مما يؤدى إلى أضعاف قاعدة المنشأ وقد ينتهى الأمر بانهيار المنشأ.

ويتم تطويل طريق التسرب إما بزيادة الطول الأفقى للأساس بعمل طبقة غير منفذه للمياه يطلق عليها الوقاء الأمامى (إذا كان الامتداد من جهة الأمام) أو الوقاء الخلفى (إذا كان الامتداد من جهة الخلف) أو تقام تحت أساس المنشأ حواجز (ستائر) عمودية مستعرضة.

٥-٣-٢-٣ التأثيرات الكيميائية والفيزيائية

تنعكس هذه التأثيرات على مواد بناء المنشأ حيث يعمل الماء الجارى بسرعات كبيرة والمحمل بالمواد الرسوبية على تآكل الأسطح الحجرية والخرسانية للمنشآت كما تتعرض الأجزاء المعدنية للتآكل مما يجعل سمكها الفعال فى تناقص تدريجى مستمر.

٥-٤ أعمال تصميم القناطر

٥-٤-١ عام

يعتمد التصميم على الأبحاث والاستقصاءات التى أجريت فى موقع المنشأ للحصول على البيانات والمعلومات الخاصة بالظواهر الطبيعية والتضاريس والتكوين الجيولوجى والخواص الهيدروليكية للمجرى المائى والخصائص المناخية للمنطقة ويشمل التصميم :

- تحديد أقصى تصرف سيمر بالمنشأ المائى ومناسيب الأمام والخلف المقابلة وتعيين الخطوط الكنتورية لمناطق الغمر وبالتالى تحديد سعة الخزان.
- وضع المخطط الهندسى العام للمنشأ مع تحديد مناسيب مكوناته المختلفة.
- عمل الحسابات الهيدروليكية للمنشأ وحسابات التسرب وتحديد الأشكال والأبعاد الأساسية لمكوناته مثل عدد الفتحات وبحر كل منها وسمك البغال البينية وطرق تقليل التسرب ومقاومة ضغوط التعويم.
- قد يستدعى الأمر فى حالة المنشآت الهيدروليكية الكبيرة إثبات صحة التصميم الهيدروليكى بإجراء تجارب هيدروليكية على نماذج طبيعية مصغرة للمنشأ بعد تحديد أبعاده.
- عمل الحسابات الأستاتيكية والديناميكية للاطمئنان على سلامة واستقرار المنشأ لما يتعرض له من أحمال وقوى ومؤثرات خارجية محتملة.

وينقسم تصميم المنشآت الهيدروليكية عادة إلى التصميم الهيدروليكى والتصميم الإنشائى حيث يختص التصميم الهيدروليكى بتحديد تصرفات المجرى المائى والسرعات المسموح بها فى أجزائه المختلفة ومن ثم تحديد الأبعاد الرئيسية للمنشأ أما التصميم الإنشائى فيتعرض لسلامة مكونات المنشأ تحت الأحمال والقوى الناشئة فى ظروف التشغيل المحتملة.

ومن المعتاد أن تقسم المنشآت الهيدروليكية إلى أجزاء علوية Super Structure وتشمل الدعائم الوسطى (البغال) والدعائم الطرفية (الأكتاف) والحوائط الساندة (حوائط الأجنحة) والعناصر الإنشائية الحاملة للطريق (عقود أو بلاطات أو كمرات) وأجزاء تحتية Sub-Structure وتشمل الأساسات (الفرش والقواطيع والستائر اللوحية).

٥-٤-٢ التصميم الهيدروليكى

٥-٤-٢-١ السرعات القصوى المسموح بها فى الفتحات

يجب ألا تزيد السرعة القصوى للمياه خلال فتحات القناطر V_v عن (ضعف إلى ثلاثة أضعاف) سرعة المياه فى المجرى المائى الذى تنشأ فيه القنطرة V_c . وتتراوح قيم السرعات القصوى المسموح بها فى فتحات القناطر حسب أهمية القنطرة ما بين (١ - ٣,٥ متر / ث)

القناطر الصغيرة ١,٠٠ - ١,٥٠ متر / ث
القناطر الكبيرة ١,٥٠ - ٢,٠٠ متر / ث
القناطر على الأنهار ٢,٥٠ - ٣,٥٠ متر / ث

٥-٤-٢-٢ الطول الكلى لفتحات القنطرة

يحدد الطول الكلى لفتحات القنطرة L بأنه حاصل ضرب عدد الفتحات n وطول الفتحة الواحدة (البحر الخالص) S على النحو التالى :

$$L = n \cdot S \qquad (5\text{-}1)$$

ويمكن أيضا حساب الطول الكلى للفتحات من المعادلة (٥-٢) :

$$L = Q / (V_v \cdot d) \qquad (5\text{-}2)$$

حيث
Q = التصرف الأقصى المار بالمجرى المائى متر^3 / ث
V_v = السرعة المسموح بها خلال الفتحات متر / ث
d = عمق المياه خلف القنطرة متر

٥-٤-٢-٣ عدد الفتحات والطول الكلى للقناطر بين الأكتاف

يتم اختيار طول الفتحة الاقتصادى (S) (علما بأنه كلما زاد طول الفتحة زادت تكاليف إنشائها) وبمعرفة الطول الكلى للفتحات L يمكن حساب عدد الفتحات المطلوبة n من المعادلة (٥-١) مع مراعاة تصحيح النتيجة المحسوبة ليكون عدد الفتحات رقما صحيحا ويجب مراجعة قيمة سرعة السريان فى الفتحات للتأكد أنها فى الحدود الآمنة بعد تصحيح عدد الفتحات. وبالرجوع إلى الشكل (٥-٤) فإنه يمكن حساب الطول الكلى للقناطر بين الكتفين L_T من المعادلة التالية :

$$L_T = n\,S + (n - 1)\,E \qquad (5\text{-}3)$$

حيث
E = عرض الدعامة الوسطى (البغلة)

وفى الأحوال العادية تتراوح النسبة بين الطول الكلى للقناطر بين الأكتاف وعرض قاع المجرى المائى ما بين ٠,٦٠ إلى ١,٠٠ وذلك لتحقيق ترابط عام مناسب بين المنشأ والأعمال الترابية المحيطة به.

٥-٤-٢-٤ الضاغط المائى

يعرف الضاغط المائى Heading up بأنه الفارق بين منسوبى المياه أمام وخلف المنشأ الهيدروليكى والذى ينشأ نتيجة لاعتراض المنشأ للسريان وضيق مساحة القطاع المائى خلاله عن القطاع الطبيعى للمجرى المائي. ويتم حساب الضاغط المائى للقناطر وهى مفتوحة فتحا كاملا لإمرار أقصى تصرف من خلالها مع مراعاة ألا يزيد هذا الضاغط عن ١٠ سم . ويمكن حساب الضاغط المائى باستخدام احدى المعادلتين التجريبيتين التاليتين (٥-٤) أو (٥-٥) :

$$h = \frac{V_c^2}{2g}\frac{1}{C^2}[(\frac{Ac}{Av})^2 -1] \qquad (5\text{-}4)$$

حيث

h = الضاغط المائى

V_c = سرعة المياه فى المجرى المائى بدون إنشاء القنطرة متر / ث

A_c = مساحة مقطع المجرى المائى بدون إنشاء القنطرة متر^2

A_v = مساحة فتحات القنطرة متر^2

c = معامل يتوقف على بحر الفتحة وتؤخذ قيمته على النحو التالى :

٠,٧٢ فتحة بعرض أقل من ٢,٠٠ متر

٠,٨٢ فتحة بعرض يتراوح ما بين ٢,٠٠ - ٤,٠٠ متر

٠,٩٢ فتحة بعرض يزيد عن ٤,٠٠ متر

g = عجلة الجاذبية الأرضية ٩,٨١ متر / ث^2

$$h = \alpha\,\beta\,\frac{V_c^2}{2g} \qquad (5\text{-}5)$$

حيث

α = معامل تتوقف قيمته على قدر تقلص المساحة عند القنطرة وتحسب قيمته من النسبة $(A_c - A_v) / A_c$

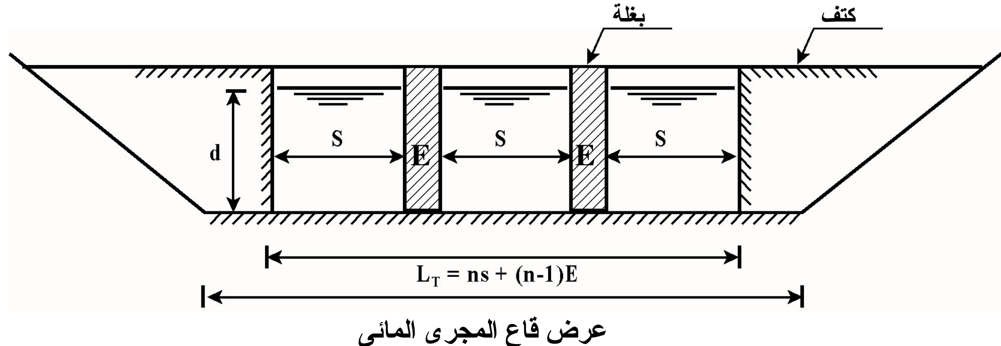
β = معامل تتوقف قيمته على شكل البغال المستخدمة – شكل (٥-٦)

٥-٤-٣ العناصر الإنشائية

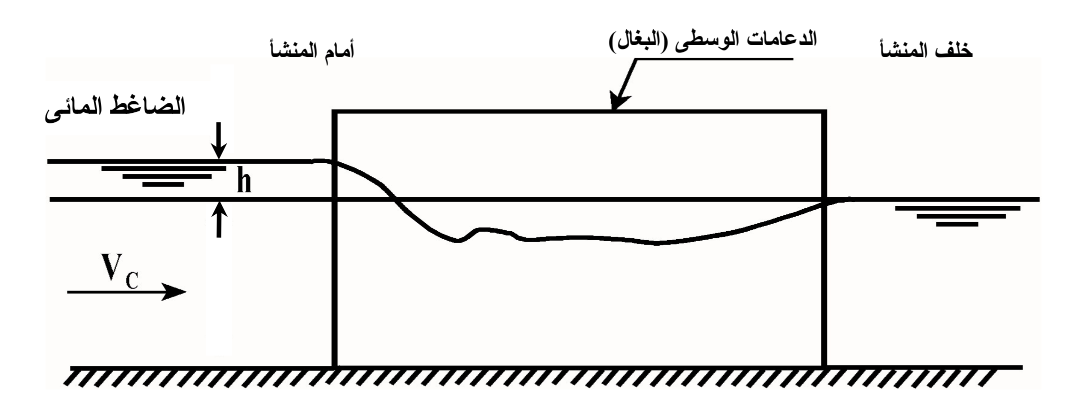
٥-٤-٣-١ الدعامات الوسطى (البغال)

يمكن تحديد عرض البغال تجريبيا بما يساوى ٤/١ إلى ٣/١ عرض الفتحة فى حالة البناء بالأحجار أو الخرسانة العادية وعادة ما تعمل بعض بغال القناطر الكبرى على النيل بسمك يصل إلى ضعف السمك العادى ويطلق عليها البغال الكتفية Abutment piers وهى تفصل مجموعات من الفتحات كما هو مبين فى الشكل (٥-٧). ويحدد طول البغال بحيث يغطى عرض الطريق فوق القناطر شاملا رصيفى المشاة على الجانبين وعرض الدراوى بالإضافة إلى مسافة كافية لتشغيل أجهزة دفع وإنزال البوابات بالإضافة إلى التجاويف الرئيسية والاحتياطية للبوابات Main and emergency grooves .

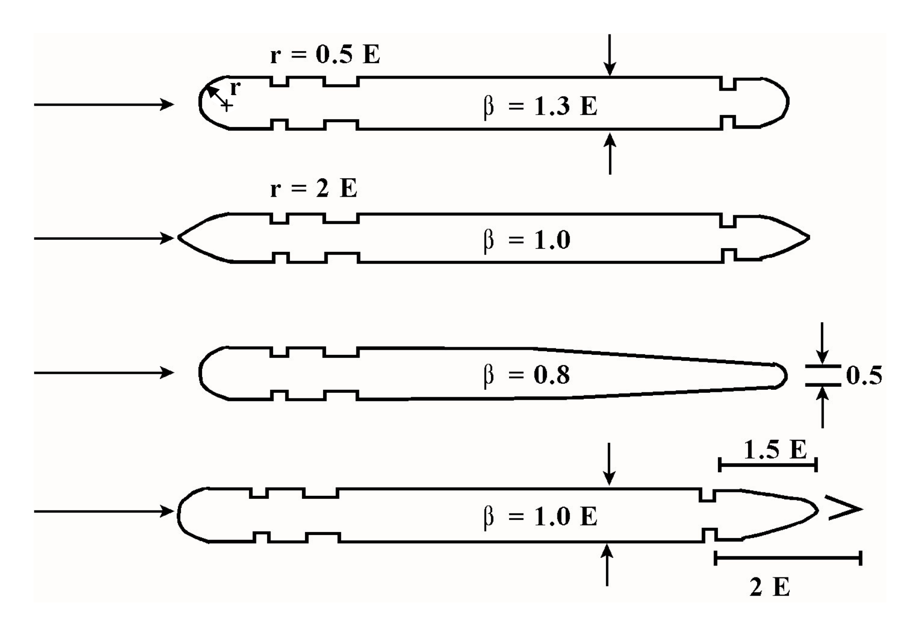
ويحدد إرتفاع البغال بحيث يكون منسوب سطحها العلوى مع منسوب حائطى الجناحين بالأمام أعلى من أقصى منسوب للمياه فى الأمام بمقدار ٥٠ سم.



شكل (٥-٤) الطول الكلى للقناطر بين الكتفين



شكل (٥-٥) إرتفاع المياه أمام المنشأ (الضاغط المائى)



شكل (٥-٦) قيم المعامل β فى المعادلة (٥-٥) لأشكال مختلفة من البغال

٥-٤-٣-٢ الدعامات الطرفية (الأكتاف)

تبنى الأكتاف من الطوب أو الأحجار أو الخرسانة العادية ويكون الوجه الداخلى للكتف جهة الفتحة رأسيا بينما الوجه الخارجى الساند للأتربة مدرجا أو مائلا بنسبة ١ : ٤ كما هو موضح بالشكل (٥-٨). ويمكن تحديد العرض العلوى للأكتاف (t_s) بالمتر باستخدام المعادلة (٥-٦) وذلك للقناطر الصغيرة والمتوسطة :

$$t_s = 0.18\ S + 0.50 \qquad (5\text{-}6)$$

حيث S طول (بحر) الفتحة متر

٥-٤-٣-٣ العقود فوق البغال والأكتاف

فى حالة استخدام العقود من الخرسانة العادية أو الأحجار فوق البغال والأكتاف لحمل الطريق فإنها تكون دائرية ذات زاوية مركزية تساوى ٩٠° ويمكن تحديد سمك العقد (t_a) بالمتر من المعادلة التالية :

$$t_a = 0.05 + 0.22\sqrt{S} \qquad (5\text{-}7)$$

ويؤخذ منسوب رجل العقد أعلى من أقصى منسوب للمياه فى الأمام بما لا يقل عن ٢٥ سم.

٥-٤-٣-٤ التجاويف (الدروندات)

تعمل بجوانب الأكتاف والبغال تجاويف (Grooves) أساسية واحتياطية وتستخدم التجاويف الأساسية لتنزلق بها بوابات التحكم فى التصرف المائى أما التجاويف الاحتياطية فتعمل أمام وخلف التجاويف الأساسية والغرض منها الاستعمال فى حالة تجفيف الفتحات بغرض الصيانة أو الترميم والاصلاح ومقاسات التجاويف تؤخذ عادة ٢٠ x ٢٠ سم أو ٤٠ x ٤٠ سم وتبطن التجاويف الرئيسية بحديد الزهر أما التجاويف الاحتياطية فلا يشترط تبطينها ويوضح الشكل (٥-٩) أنواع التجاويف وأماكنها.

٥-٤-٣-٥ العرض الكلى للقناطر

يشمل العرض الكلى للقناطر عرض الطريق الفعال وعرض الرصيفين على الجانبين وسمك الدراوى والمسافة بين الدروتين الأماميتين اللتين يعمل خلالها جهاز رفع البوابات.

أ- عرض الطريق الفعال

يتوقف عرض الطريق الفعال على حجم القناطر وموقعها وكثافة المرور فوقها ويتراوح عرض الطريق ما بين (٦ - ١٢) متر وعموما يكون عرض الطريق الفعال ٣,٠٠ متر و مضاعفاتها.

ب- عرض الأرصفة

يعمل رصيفان على جانبى الطريق الفعال فوق القناطر ويختلف عرض الرصيف حسب أهمية مرور المشاة ويتراوح عرض الرصيف ما بين (٠,٥٠ - ١,٥٠) متر وفى بعض الأحيان يعمل رصيف واحد بأحد الجهتين بينما يعمل بالجهة الأخرى قدمة لا يتعدى عرضها ٠,٣٠ متر.

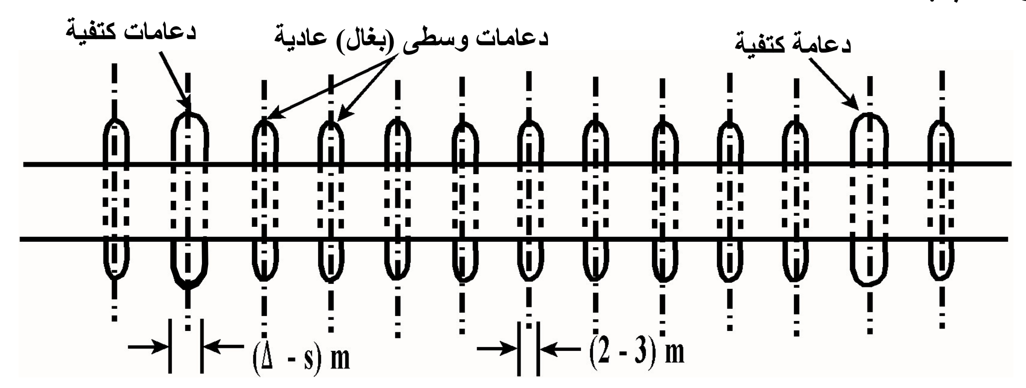
ج- الدراوى على جانبى الطريق

هناك دروتان رئيسيتان كل منهما على جانبى الطريق الرئيسى أما الدروة الثالثة أمام الدروة الأمامية فتستعمل فقط مع الدروة الأمامية الرئيسية فى ارتكاز أوناش تشغيل بوابات القناطر وتتوقف المسافة بين الدروتين الأماميتين على طريقة الموازنات المستخدمة على القناطر ففى حالة استخدام بوابة واحدة

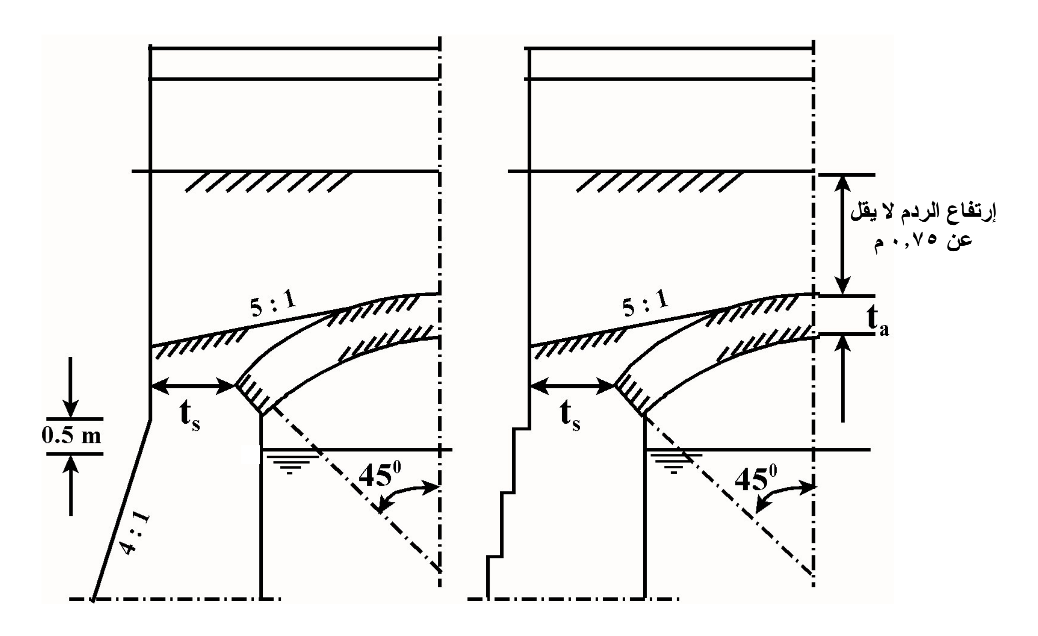
بدراوند واحد تتراوح المسافة بين (٠,٥٠ - ٠,٧٥) متر وفى حالة استخدام بوابتين بدراوندين فإن المسافة تتراوح بين (١,٠٠ - ١,٥٠) متر.

د- منسوب الطريق فوق القناطر

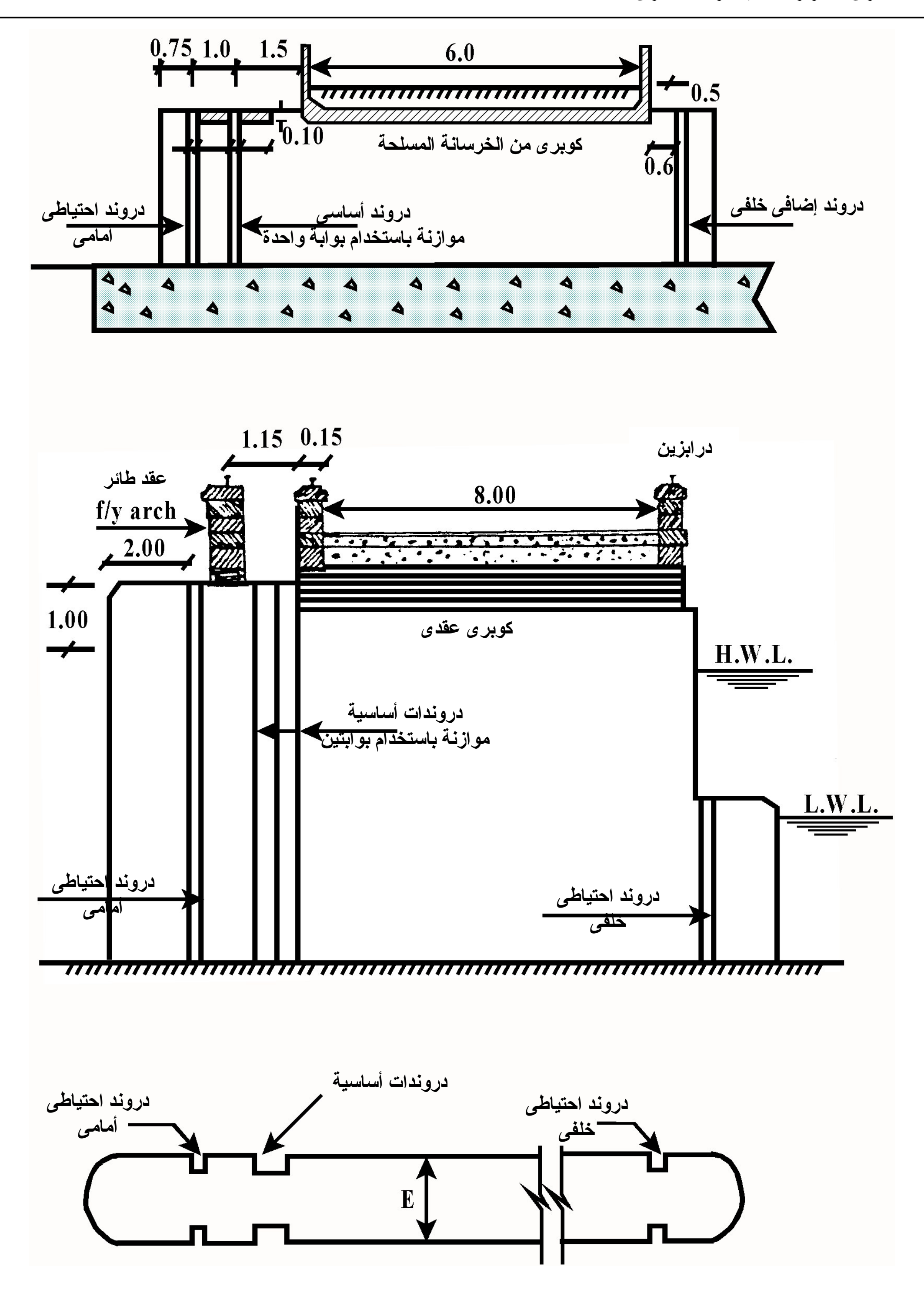
فى حالة استخدام عقود دائرية لحمل الطريق يجب ألا يقل إرتفاع الردم فوق العقود عن ٠,٧٥ متر وذلك لضمان توزيع الأحمال على العقود ولحماية العقود نفسها ولتحقيق ذلك قد يتطلب الأمر فى بعض الأحيان رفع منسوب الطريق فوق القناطر أعلى من منسوب الطرق والجسور المؤدية إليها مع عمل مداخل بميول مناسبة.



شكل (٥-٧) الدعامات الوسطى (البغال) العادية والكتفية فى حالة القناطر الكبرى على الأنهار



شكل (٥-٨) الدعامات الطرفية (الأكتاف)



شكل (٥-٩) أنواع التجاويف (دروندات)

٥-٤-٣-٦ حوائط الأجنحة

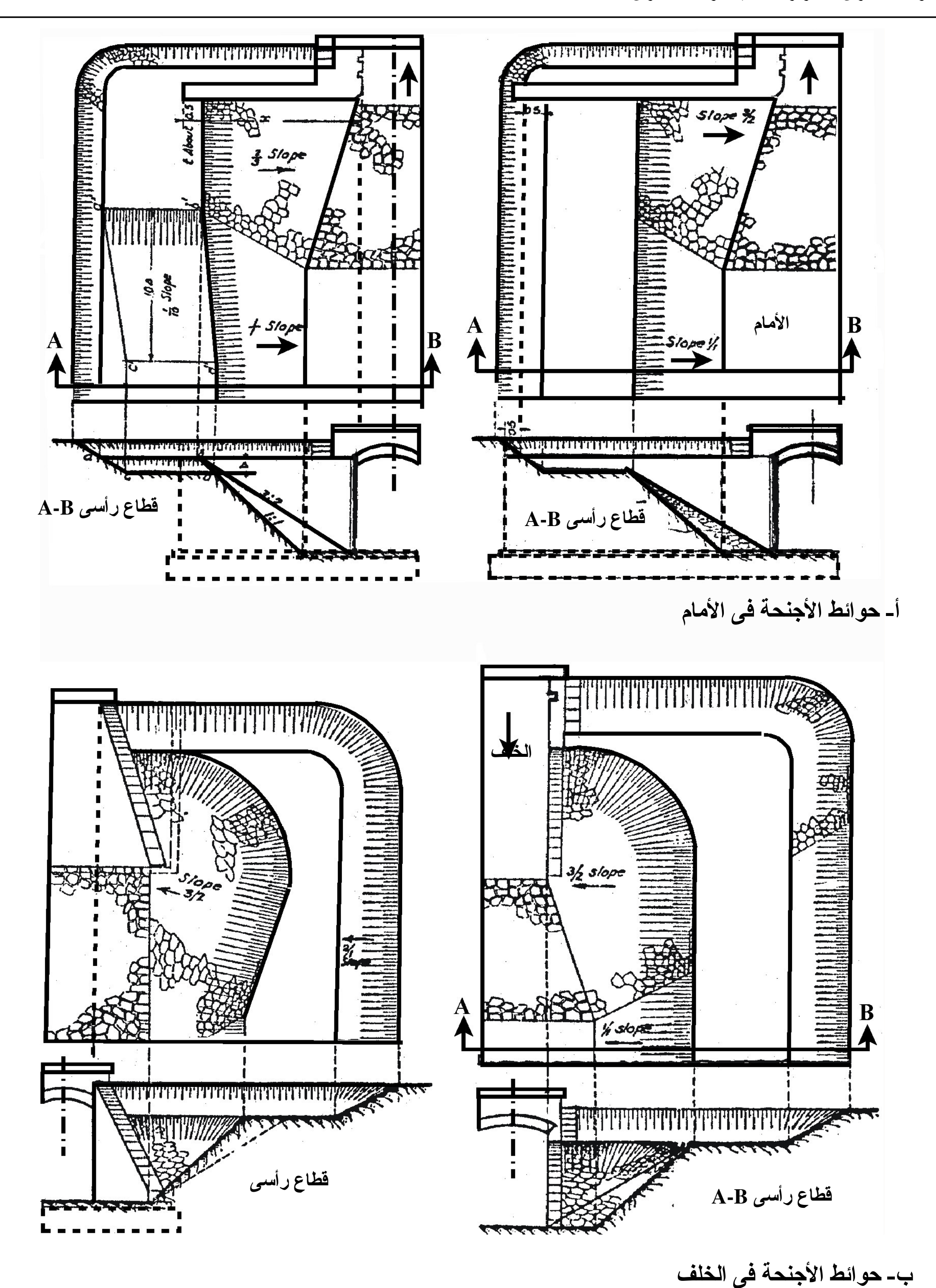
تسمى الأجزاء الأمامية والخلفية بعد كتفى القنطرة بحوائط الأجنحة Wing Walls وتكون حوائط الأجنحة الأمامية عادة من النوع الصندوقى Box Type المتعامد مع اتجاه السريان بينما تكون حوائط الأجنحة فى الخلف من النوع المائل متدرج الإرتفاع Sloping Type الموازى لاتجاه السريان أو المنفرج قليلا تجاه الجسرين Sloping splayed type وفى الحالة الأخيرة يجب ألا تتعدى المسافة بين الجناحين بالخلف فى المسقط الأفقى عرض المجرى المائى الأصلى ويوضح الشكل (٥-١٠) نماذج لحوائط الأجنحة بالأمام والخلف.

ولتقدير امتداد الحائط من جهة الأمام فإن المسافة من نهاية الدروة الأمامية للطريق والدروند تؤخذ فى حدود ٠,٣٥ - ٠,٥٠ متر بينما تحسب المسافة Z من الدروند الخارجى وحتى بداية حائط الأجنحة الأمامى بالمتر باستخدام المعادلة التالية :

$$Z = 0.87\ E + S/4 + 1.00 \qquad (5\text{-}8)$$

حيث E عرض الدعامة الوسطى (البغلة) بالمتر ، S طول الفتحة (البحر) بالمتر.

وتكون حوائط الأجنحة رأسية تجاه المياه ومائلة من الجهة الداخلية الساندة للأتربة (١ أفقى : ٤ رأسي) وفى حالة الإنشاء من الخرسانة العادية أو مبانى الطوب أو الأحجار فإن البعد المبدئى لسمك الحائط من أعلاه يؤخذ خمس إرتفاع الحائط.



أ- حوائط الأجنحة فى الأمام

ب- حوائط الأجنحة فى الخلف

شكل (٥-١٠) نماذج لحوائط الأجنحة فى الأمام والخلف

٥-٤-٤ فروشات القناطر

٥-٤-٤-١ الأهداف من وجود الفرش

توجد ثلاثة أهداف رئيسية من وجود الفروشات أسفل القناطر :

- توزيع الأحمال والأوزان الخاصة بالدعامات الوسطى (البغال) والدعامات الطرفية (الأكتاف) ونقلها إلى التربة تحت فرش القنطرة بما لا يتعدى الحدود الآمنة لاحتمال التربة.
- حماية القناطر من ظاهرة نخربة التربة أسفلها نتيجة لسريان المياه وذلك بتوفير الطول اللازم الذى يضمن عدم حدوث هذه الظاهرة.
- ضمان عدم حدوث ظاهرة النحر المحلى بقاع المجارى المائية خلف القناطر وذلك عن طريق توفير طول الفرش اللازم لتحدث فوقه القفزة الهيدروليكية Hydraulic jump للتخلص من السرعات الزائدة والاضطرابات المصاحبة لخروج المياه من الفتحات.

٥-٤-٤-٢ الطبقات المكونة لفرش القناطر

تنشأ الفروشات أسفل القناطر إما من الخرسانة العادية أو من طبقة من الخرسانة العادية تعلوها طبقة أخرى من الخرسانة المسلحة وذلك فى حالة وجود إجهادات شد بالفروشات تزيد عن ١٢ - ١٤ كجم/سم^{2} . ويتم الربط بين طبقة الخرسانة العادية وطبقة الخرسانة المسلحة باستخدام أشاير (dowels) بحيث توضع إشارة لكل مساحة مربعة لا تزيد عن ٤٠ x ٤٠ سم عبارة عن سيخ بطول ٨٠ ϕ حيث ϕ قطر السيخ والذى يبلغ عادة ١٣ مم فى القناطر الصغيرة والمتوسطة و١٦ مم فى القناطر الكبيرة . والغرض من وجود هذه الأشاير ضمان عمل كل من الطبقتين مع بعضهما فى مقاومة الأحمال والضغوط المعرضة لها الفروشات وعزوم الإنحناء وقوى القص تقاوم عادة بطبقة الخرسانة المسلحة فقط.

كما يتم وضع طبقة من الخرسانة الناعمة أعلى سطح طبقة الخرسانة المسلحة بسمك ١٠ سم بحيث تكون نسبة الأسمنت بها تساوى نسبة الأسمنت فى الخرسانة المسلحة ويكون الزلط الداخل فى مكونات هذه الطبقة من النوع الرفيع بحيث لا يتعدى أقصى قطر له ٢ سم كما يستحسن وضع طبقة من بلوكات الجرانيت وذلك فى المنشآت المائية الكبرى مثل تلك المقامة على نهر النيل وتعمل هذه الطبقة كطبقة خارجية تكسو الطبقة العليا من الفرش المكونة من الخرسانة المسلحة. وحيث أن هذه الطبقة تقاوم التآكل نتيجة لسريان المياه فوق الفرش فيجب ألا تؤخذ فى الاعتبار عند حساب مقاومة الفرش لقوى التعويم وكذلك عند حساب مقاومة عزوم الانحناء وقوى القص ويوضح الشكل (٥-١١) الطبقات المكونة لفرش القناطر.

٥-٤-٤-٣ أجزاء الفرش

يتكون الفرش عادة من الأجزاء الثلاثة التالية :

أ- الفرش الأمامى Upstream Apron

وهو الجزء من الفرش الموجود أمام مقدمة دعامات وأكتاف القنطرة وهذا الجزء يتعرض لقوى رأسية تتكون من وزن الماء فوقه ووزن الفرش فى هذا الجزء والضغط المتولد من أسفل إلى أعلا نتيجة سريان الماء فى التربة أسفل الفرش وعادة ما تكون المحصلة لأسفل وبالتالى فإن سمك هذا الجزء يكون صغيرا ويجب ألا يقل عن ٠,٥٠ متر.

ب- الفرش الأوسط Middle Apron

وهو الجزء الرئيسى من الفرش الواقع تحت دعامات وأكتاف القناطر ويصمم هذا الجزء على اعتبار أنه بلاطة مستمرة مقلوبة.

ج- الفرش الخلفى Down Stream Apron

وهو الجزء من الفرش الواقع خلف نهاية دعامات وأكتاف القنطرة وطول هذا الجزء يجب أن يكون كافيا لمنع حدوث نحر محلى بقاع المجرى خلف القناطر. ويعين سمك هذا الجزء من الفرش لمقاومة قوى التعويم فى الأساس.

ويمكن تقسيم فروشات القناطر أيضا إلى فروشات مصمتة وفروشات غير مصمتة ويعمل الفرش المصمت من الخرسانة لمقاومة أحمال وأوزان المنشأ بالإضافة إلى ضغط التعويم من أسفل لأعلى وما يترتب عليها من عزوم انحناء وقوى قص أما الفرش غير المصمت فهو يتكون من جزئين أحدهما أمام الفرش المصمت والأخر خلفه. ويتكون هذا النوع من الفرش من طبقة التدبيش الموجودة على قاع المجرى فى الأمام والخلف أو طبقة بلوكات خرسانية. وأحيانا يكون تحت طبقة التدبيش هذه أو طبقة البلوكات الخرسانية الموجودة أمام الفرش الخرسانى طبقة من الطين الأصم (غير المنفذ) وذلك لمنع تسرب الماء من خلاله. وفى هذه الحالة يجب أن يؤخذ طول هذا الفرش فى الاعتبار عند حساب طول مسار التسرب Percolation Length .

أما الجزء الواقع بالخلف فيجب أن يكون منفذا وبالتالى فإنه لا توضع طبقة الطين الأصم تحت طبقة التدبيش أو البلوكات الخرسانية وذلك حتى يعمل هذا الجزء كمرشح وذلك بوضع الفلتر المقلوب بدلا منها حتى يسمح بخروج ماء الرشح ولا يسمح بخروج حبيبات التربة.

٥-٤-٤-٤ طول الفرش

يجب أن يكون طول الفرش مستوفيا لشروط التصميم الخاصة بمقاومة نخربة التربة الناشئة من تسرب المياه تحت الفرش وكذلك مقاومة النحر بضمان حدوث القفزة الهيدروليكية فوق الفرش.

ويمكن حساب طول مسار التسرب بتطبيق معادلة بلاى أو معادلة لين اللتين تم الإشارة إليهما فى الباب الرابع الخاص بالهدارات (البند ٤-٥-١) كما يمكن رسم شبكة السريان التى تم الإشارة إليها فى البند (٤-٥-٢) وذلك لحساب ضغط التعويم على الفرش وتحديد سرعة خروج المياه عند نهاية الفرش المصمت من الخلف وحساب كمية التسرب تحت القنطرة.

ويلزم لتحديد طول مسار التسرب تحديد قيمة الضاغط المائى الأقصى H نتيجة فرق التوازن المعرضة له القنطرة أى الفرق الأقصى بين منسوبى المياه فى الأمام والخلف وعادة ما تؤخذ الحالة الحرجة عند إغلاق القنطرة بالكامل فى فترة أقل الاحتياجات المائية وبالتالى فإن القيمة القصوى للضاغط المائى تساوى الفرق بين المنسوب المائى الأقل فى الأمام ومنسوب الفرش فى الخلف.

وتستخدم المعادلة (٤-١٣) التى سبق الإشارة إليها فى البند (٤-٦-١) لحساب طول الفرش اللازم لمقاومة النحر والذى يقاس من خلف الدعائم الوسطى (البغال) حسب ما هو مبين فى الشكل (٥-١٢).

٥-٤-٤-٥ سمك الفرش

أ- سمك الفرش فى الجزء الأمامى

وهذا الجزء من الفرش هو الجزء الواقع من بداية الفرش وحتى مقدمة دعامات القنطرة. وفى هذا الجزء من الفرش يوجد عمق مائى كبير فى الأمام ويكون محصلة وزنه بالإضافة إلى وزن الفرش إلى أسفل أكثر من قوة الدفع الرأسى من أسفل إلى أعلى والمتولدة من الماء المتسرب (Uplift) وبذلك فإن محصلة هذه القوى الرأسية جميعها تكون من أعلى إلى أسفل. وبالتالى فإنه يمكن فرض سمك هذا الجزء من

الفرش (t_1) فى حدود ٠,٥٠ م وهى القيمة الدنيا لسمك فرش القنطرة. وإذا كان طول هذا الجزء الأمامى أقل من ٢ متر فإنه يجب أن يكون سمكه مساويا لسمك الجزء التالى له والواقع تحت دعامات القنطرة وذلك حتى يمكن تفادى حدوث أى شروخ بين هذا الجزء والجزء الذى يليه مما يقلل طول خط الرشح الأمر الذى يؤثر على سلامة القنطرة.

ب- سمك الفرش فى الجزء الأوسط

يعتبر هذا الفرش الجزء المهم حيث أنه يمثل طبقه التأسيس التى تحمل دعامات القنطرة والبوابات ومنشآت رفعها وكذلك الكوبرى الموجود فى أعلى القنطرة. وبالتالى فإنه من المتوقع أن يكون سمكه (t_2) أكبر من سمك الجزء الأمامى (t_1) أو الجزء الخلفى (t_3) . وفى حالة القناطر الصغرى والتى تتكون من فتحة واحدة فإن سمك الفرش يكون ثابتا أى أن $t_1 = t_2 = t_3$.

وبالنسبة للقناطر المتوسطة فإنه يتم فرض قيمة (t_2) بالمتر من المعادلتين التاليتين أيهما أكبر إذا ما كان الفرش يتكون من الخرسانة العادية :

$$t_2 = (0.80 \text{ to } 1.00)\sqrt{\text{H}} \qquad (5\text{-}9)$$

$$t_2 = \text{S}/4 + 0.5\sqrt{\text{H}} \qquad (5\text{-}10)$$

حيث (H) هو أكبر ضاغط مائى تتعرض له القنطرة ، (S) هو العرض الحر للفتحة. ويشمل سمك الفرش لهذا الجزء (t_2) كلا من طبقتى الخرسانة العادية أو العادية والمسلحة ويتم التأكد من صلاحية قيمة السمك (t_2) لمقاومة كل من ضغوط الماء من أسفل لأعلى واجهادات عزوم الانحناء وقوى القص.

وبالنسبة للتأكد من صلاحية سمك الفرش فى مقاومة ضغوط التعويم فإنه من الملاحظ أن هذا الجزء من الفرش معرض لقوى كثيرة تقاوم تأثير ضغط الماء من أسفل لأعلى وبالتالى فإنه من المتوقع أن تكون القيمة (t_2) المفروضة أصغر من قيمة (t_2) المستنتجة من المعادلة (٥-١١) التى تضمن أن يكون وزن الفرش أكبر من ضغوط التعويم.

$$t_2 = h_2 / (\gamma_f - 1) \qquad (5\text{-}11)$$

حيث

h_2 = قيمة ضاغط التعويم بالمتر ويتم حسابها برسم منحنى ضغوط التعويم كالمبين بالشكل (٥-١٣)

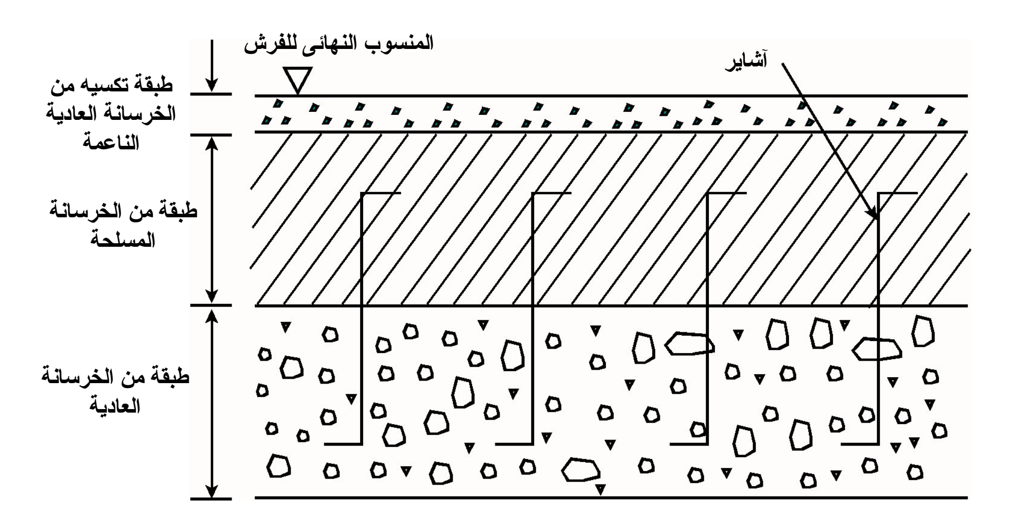
γ_f = التثاقل النوعى (النسبة بين وزن وحدة الحجوم لخرسانة الفرش والوزن النوعى للماء)

ونسبة تخفيض قيمة (t_2) المفروضة عن القيمة النظرية تعتمد على العرض الحر لفتحة القنطرة (S). وبصفة عامة إذا ما كان عرض الفتحة يساوى أو أقل من ١٠ متر ($S \leq 10$ m) فإنه يهمل التأكد من قيمة صلاحية قيمة (t_2) المفروضة. أما إذا كانت قيمة عرض الفتحة أكبر من ١٠ متر ($S > 10$ m) فإنه يتم التأكد من صلاحية سمك هذا الجزء لمقاومة ضغط ماء الرشح وكذلك الاجهادات الناتجة عن عزوم الانحناء وقوى القص.

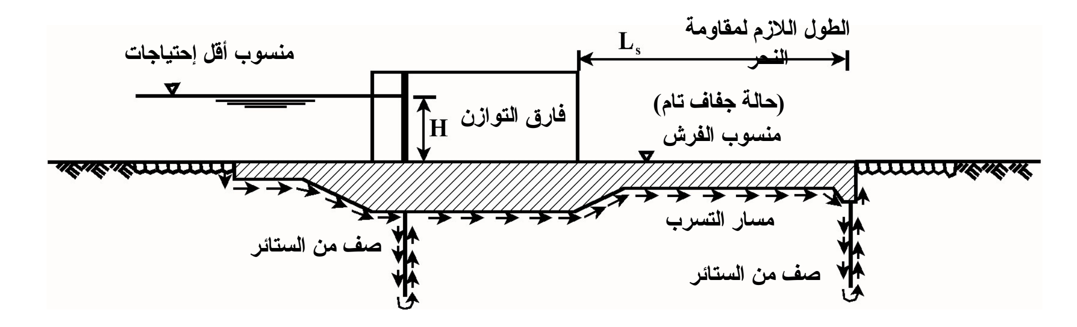
وبالنسبة للتأكد من صلاحية هذا الجزء فى مقاومة الاجهادات الناتجة عن عزوم الانحناء وقوى القص فإنه تؤخذ الحالة الحرجة للتحميل وهى التى تلى مرحلة الإنشاء مباشرة وقبل مرور الماء بالقنطرة. وبالتالى فإنه لا يوجد ضغط هيدروستاتيكى على أكتاف القنطرة نظرا لعدم وجود ماء وكذا لا توجد

ضغوط تعويم لنفس السبب أيضا. وبالتالى فإن خطوات التصميم لفرش القنطرة المتماثلة تكون كما يلى (حالة ما إذا كان عرض الفتحة الحر (S) أقل من ١٠ متر).

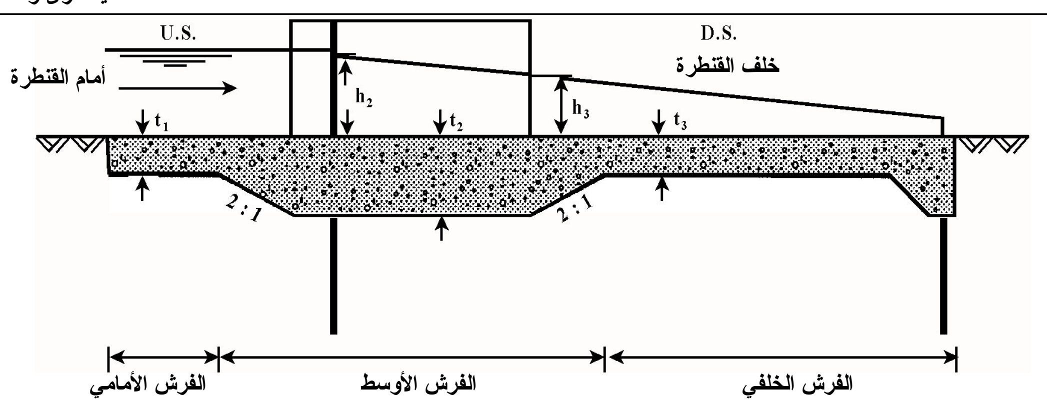
- يمكن اعتبار شريحة الفرش تحت كوبرى القنطرة بعرض ١ متر كما هو مبين بالشكل (٥-١٤) ثم رسم قطاع القنطرة عند هذه الشريحة كما هو موضح بالشكل (٥-١٥).
- يتم أخذ حمل حى موزع بإنتظام على سطح الكوبرى ٢,٥ طن / متر مربع والذى يتضمن معامل الاصطدام Impact Coefficient .
- يمكن فرض أبعاد الكوبرى ثم تحسب قيمة ردود الفعل عند نقط الارتكاز R_b والناتجة عن إضافة الحمل الحى مع الحمل الميت.
- يقسم قطاع أكتاف القنطرة وكذلك شكل الضغط العرضى الناتج عن التربة وذلك لتسهيل حساب الأوزان والضغوط وبيان مراكز الثقل لكل منها وذلك كما هو مبين بالشكل (٥-١٥)أ .



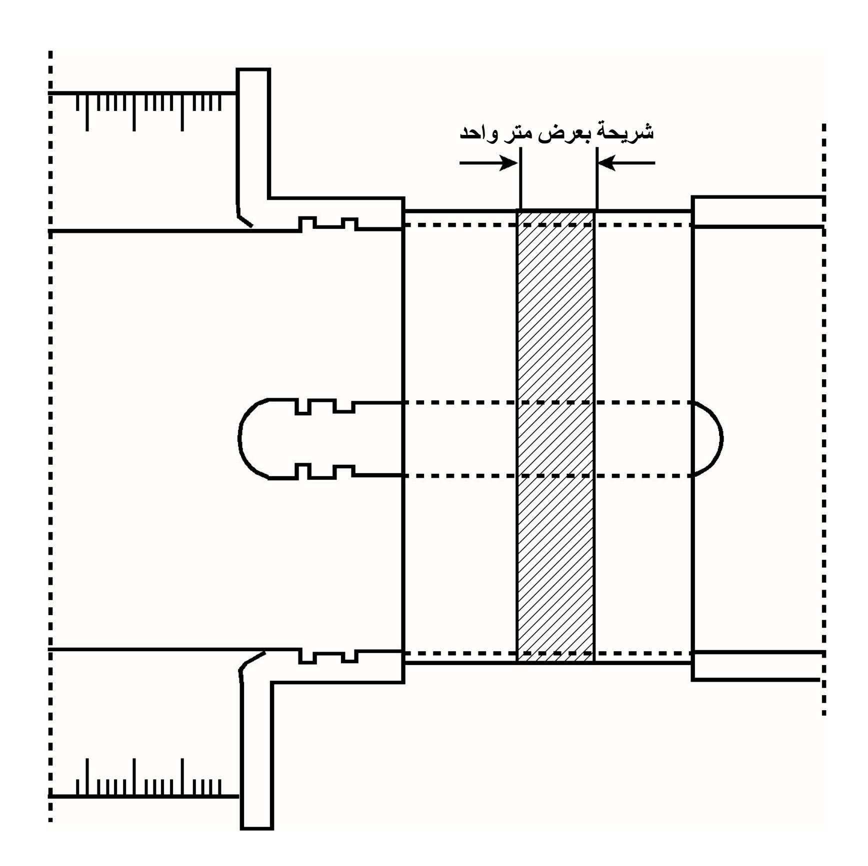
شكل (٥-١١) نموذج للطبقات المكونة لفرش القناطر



شكل (٥-١٢) طول الفرش اللازم لمقاومة النحر



شكل (٥-١٣) ضغط التعويم على أجزاء الفرش المختلفة



شكل (٥-١٤) إجراء حسابات سمك الفرش تحت كوبرى القنطرة لشريحة عرضها متر واحد

ويراعى عدم إهمال الأحمال الحية على الأكتاف ويحسب ضغط التربة العرضى (e) عند أى عمق (h) من أعلى مداخل ومخارج الكوبرى فوق القنطرة بمعادلة Rankine

$$e = \gamma_e \, h \, K_a \qquad (5\text{-}12)$$

حيث

γ_e = وزن وحدة الحجوم لتربة الردم خلف الأكتاف
K_a = معامل ضغط التربة الجانبى ويعطى بالمعادلة (٥-١٣) حيث Φ زاوية الاحتكاك الداخلى لتربة الردم

$$K_a = (1 - \sin \Phi) / (1 + \sin \Phi) \qquad (5\text{-}13)$$

ويحسب ضغط التربة المكافئ عند مستوى الطريق (e_0) نتيجة للحمل الحى الموزع (w) بالطن لكل متر مربع من المعادلة (٥-١٤)

$$e_0 = K_a \cdot w \qquad (5\text{-}14)$$

ويمكن حساب القوى الأفقية على الأكتاف والناشئة من الأحمال الرأسية وضغوط الأتربة كالتالى :
$E_1 = h.e_0$ وتؤثر على مسافة (h/2) أعلى منسوب الفرش ، $E_2 = \gamma_e\,(h^2/2)\,K_a$ وتؤثر على مسافة (h/3) أعلى منسوب الفرش. وبنفس الطريقة يمكن حساب قيمة قوة ضغط التربة الأفقية E_3 المؤثرة على فرش القنطرة. وباعتبار المستوى السفلى لفرش القنطرة M-M فى الشكل (٥-١٥) والذى يبلغ طوله (L) وباعتبار أن الفرش كتلة صلبة يمكن أن تتحرك رأسيا أو تدور حول أحد الحواف فإن رد الفعل للتربة سيكون منتظما ومساويا القيمة (δ) التى يمكن حسابها بقسمة الأحمال الرأسية على مساحة الفرش كالتالى:

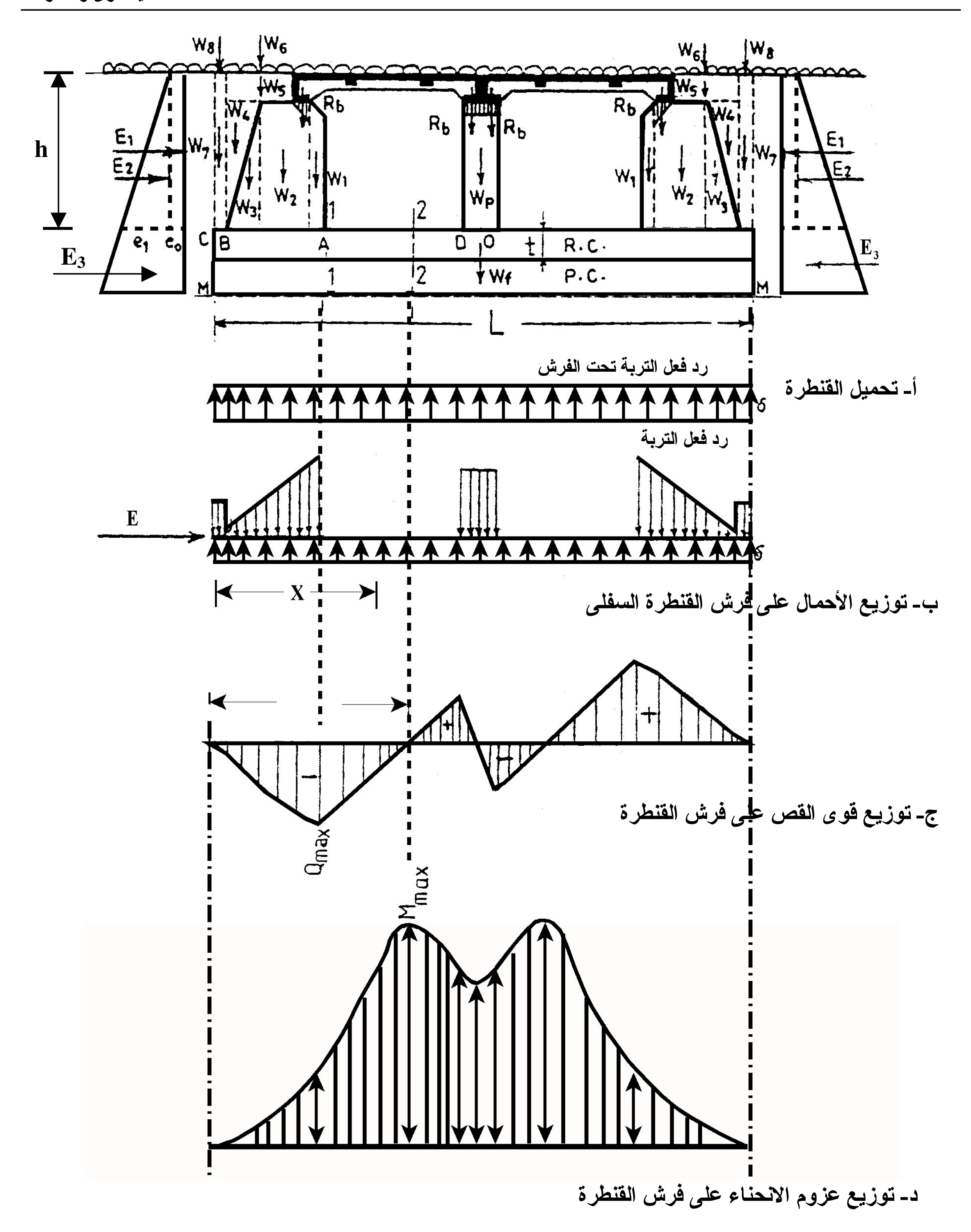
$$\delta = [(2w_1 + 2w_2 + \ldots\ldots\ldots + 2w_8) + 4R_b + W_p + W_f] / (L \times 1) \qquad (5\text{-}15)$$

حيث
W_p = وزن الدعامة الوسطى ، W_f وزن الفرش وذلك للمتر الطولى

ويجب ألا يتعدى الضغط على التربة الإجهاد الآمن لها من واقع أبحاث التربة بالمشروع ويمكن الاسترشاد بالقيم الآتية لجهد التحميل الآمن للتربة من واقع تصنيفها.

Medium stiff Clay	0.70 Kg/cm^2
Agriculture Soil	1.00 Kg/cm^2
Silty Clays	1.25 Kg/cm^2
Clayey Silts	1.50 Kg/cm^2
Silt and Fine Sands	2.00 Kg/cm^2
Nile Soils	2.25 Kg/cm^2

- يتم تحديد الأحمال على المستوى السفلى للفرش M-M كما هو مبين بالشكل (٥-١٥) ب .



شكل (٥-١٥) طريقة حساب سمك الفرش فى الجزء الثانى تحت دعامات قنطرة متماثلة

- يتم حساب قوى القص وكذا عزوم الانحناء وذلك على اعتبار أن قطاع الفرش ذو جساءة عالية وبذلك تكون العلاقة بين الأحمال (P) طن / متر مربع وقوى القص للمتر الطولى Q كما يلى

$$Q_x = \int_0^x -P_x \, dx = \sum -P.\Delta x \qquad (5\text{-}16)$$

وبالتالى فإن عزوم الانحناء (M) بالطن متر على مسافة (x) من طرف الفرش تعطى بالمعادلة (٥-١٧)

$$M_x = \int_0^x Q_x \, dx = \sum Q_x . \Delta x \qquad (5\text{-}17)$$

- تكون أقصى قوى قص عند القطاع (١-١) عند حافة كتف القنطرة وعند القطاع (٢-٢) تنعدم قوى القص ويبلغ عزم الانحناء قيمته القصوى.
- سواء كان الفرش من الخرسانة العادية أو من الخرسانة المسلحة فإن ضغط التربة سوف ينتقل إلى الفرش كقوى ضغط عمودية وتكون القنطرة متماثلة حول محور الفرش.

فرش القنطرة من الخرسانة العادية

إذا كان فرش القنطرة من الخرسانة العادية يكون إجهاد القص الأقصى q_{max} عند القطاع ١-١ ويعطى بالمعادلة :

$$q_{max} = \frac{3}{2} \frac{Q_{max}}{100\,t} \not> 5.0\ Kg/cm^2 \qquad (5\text{-}18)$$

حيث (t) سمك الفرشة الخرسانية بالسنتيمتر.

وتكون أقصى إجهادات ناتجة عن عزم الانحناء عند القطاع ٢-٢ وتعطى بالمعادلة :

$$f_t = \frac{-N}{100\,t} \pm \frac{6\,M}{100\,t^2} \not> f_{allowable} \qquad (5\text{-}19)$$

وبصفة عامة فإنه يوجد شد فى الشرائح العليا من الفرش والذى يجب ألا تزيد إجهادات الشد عنده عن ١٢ كجم / سم^{٢} ويوجد ضغط فى الشرائح السفلى من الفرش والذى يجب ألا تزيد قيمته عن ٤٥ كجم / سم^{٢} .

وبوجه عام يفضل ألا تستخدم الخرسانة العادية فقط فى إنشاء الفرش حتى ولو كانت تتحمل الإجهادات الناتجة وذلك لتفادى حدوث شروخ بها نتيجة الانكماش وبالتالى يفضل أن يكون الفرش من الخرسانة المسلحة.

فرش القنطرة من الخرسانة المسلحة

يمكن تعيين أقصى عزم انحناء (M) عند القطاع ٢-٢ بالشكل (٥-١٥) بالكيلوجرام سنتيمتر وكذلك قوة الضغط (N) المصاحبة بالكيلوجرام ويتم حساب سمك الفرش الفعال (d) بالسنتيمتر ومساحة حديد التسليح (A_s) بالسنتيمتر المربع من المعادلات التالية :

$$d = K_1 \sqrt{M/100} \qquad (5\text{-}20)$$

$$A_s = (M / K_2 d) - (N / 1000) \quad (5\text{-}21)$$

ويتم اختيار كل من المعاملين K_1, K_2 على أساس

$(f_c = 45\ Kg/cm^2 , f_s = 1000\ Kg/cm^2 \text{ and } n = 10)$

حيث
f_c = إجهاد الضغط المسموح به فى الخرسانة
f_s = إجهاد الشد المسموح به فى حديد التسليح
n = نسبة معامل مرونة الحديد إلى معامل مرونة الخرسانة

وتكون أقصى إجهادات قص عند القطاع ١-١

$$q_{max} = Q_{max} / 100\ d \not> 5\ Kg/cm^2 \quad (5\text{-}22)$$

ويمكن استعمال طريقة حالات الحدود لتصميم القطاعات حسبما جاء بالكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة.

ج- سمك الفرش فى الجزء الخلفى

وهو الجزء من الفرش الذى يبدأ من خلف نهايات دعامات القنطرة وحتى نهاية الفرش. وعند حساب سمك هذا الجزء فإنه دائما ما يتم تجاهل صلابة الفرش (Rigidity) عند حوائط الأجنحة بالخلف وبالتالى فإنه لا يوجد إجهادات عزم فى الاتجاه العرضى وأيضا يتم تجاهل عزوم الانحناء فى الاتجاه الطولى وذلك لإمتداد الفرش خلف الدعامات وبالتالى فإنه عند تصميم الفرش فى هذا الجزء لتعيين سمكه (t_3) فإنه يؤخذ فى الاعتبار الضغط المتولد من التعويم (Uplift) ووزن البلاطة فقط. وبفرض أن (h_3) تساوى الإحداثى الأقصى لقيمة ضغط الماء من أسفل إلى أعلى مقاسا من فوق منسوب الفرش وحتى خط ضغط ماء الرشح عند نهاية الدعامة مباشرة كما هو موضح فى الشكل (٥-١٣) فإنه يمكن حساب سمك هذا الجزء من الفرش من المعادلة الآتية فى حالة استخدام خرسانة عادية :

$$t_3 = (1.3\ h_3) / (\gamma_f - 1) \quad (5\text{-}23)$$

حيث (γ_f) تساوى التثاقل النوعى Specific Gravity لخرسانة الفرش و (h_3) بالمتر ، (t_3) بالمتر وأقل قيمة لسمك هذا الجزء هو ١,٠٠ م. وفى حالة ما إذا كان هذا الجزء طويلا جدا فإنه من المستحسن أن يتم تغيير سمكه تدريجيا حسب قيمة ضغط ماء الرشح من أسفل إلى أعلى والتى تقل فى اتجاه الخلف.

وفى حالة كون الفرش الخلفى بلاطة من الخرسانة المسلحة يتم أخذ شريحة بعرض ١ م وبطول ℓ بين حوائط الأجنحة ويحسب عزم الانحناء من المعادلة :

$$M = w\ \ell^2 / 10 \quad (5\text{-}24)$$

حيث w تساوى وزن المتر المربع من الفرش إلى أسفل $(\gamma_f\ \ t)$ مطروحا منه قوى الدفع إلى أعلى وتساوى $(\gamma_w\ h_3)$ أى :

$$w = \gamma_f t_3 - \gamma_w h_3 \tag{5-25}$$

٥-٤-٤-٦ الأنواع الأساسية للقواطع الرأسية Vertical Cutoffs

تستخدم القواطع الرأسية فى إطالة مسار التسرب وبالتالى تعمل على تقليل قيمة ضغط التعويم على الفرش من أسفل لأعلى وأيضا تساعد على تقليل ميل الانحدار الهيدروليكى عند نهاية الفرش Exit Gradient والذى يتسبب فى حدوث ظاهرة فوران التربة وحدوث الخلخلة خلف الفرش وتوجد أنواع مختلفة من القواطع الرأسية منها ما يلى :

- الخوازيق من الحديد الزهر.
- الستائر المعدنية المصنوعة من الصلب.
- القواطع الرأسية المكونة من صفين من الستائر المصنوعة من الصلب مع ملء الفراغ بينهما بالخرسانة العادية.
- القواطع الرأسية المصنوعة من الخرسانة سابقة الإجهاد.
- القواطع الرأسية المكونة من الخرسانة اللدنة (بنتونيت + أسمنت)

٥-٥ البوابات

تعمل البوابات التى تزود بها فتحات القناطر أو المنشآت المائية الأخرى على التحكم فى مرور التصرفات من الأمام إلى الخلف وذلك لضمان حسن إدارة المياه مما يؤدى إلى عدالة التوزيع بين مستخدمى المياه وفيما يلى وصف لأهم الأنواع المستخدمة فى شبكة الرى المصرية.

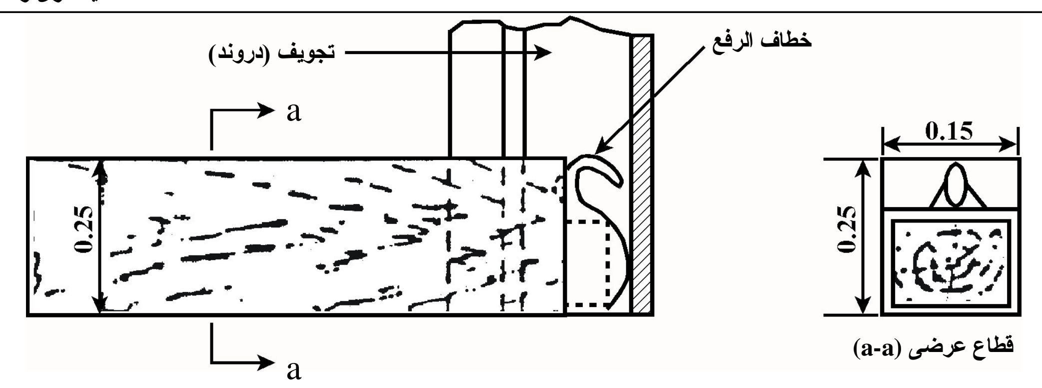
٥-٥-١ أخشاب الغماة الأفقية Horizontal Timber Logs

عادة ما تستخدم الكمرات الخشبية بعرض ٠,٢٥ متر فى إغلاق فتحات القناطر ذات العروض التى لا تتعدى ٣ متر وتنزلق هذه الكمرات داخل مجارى رأسية (دروندات) موجودة فى دعامات القنطرة وذلك كما هو موضح بالشكل (٥-١٦) وتستخدم أخشاب الغماة الأفقية غالبا فى الأعمال المؤقتة.

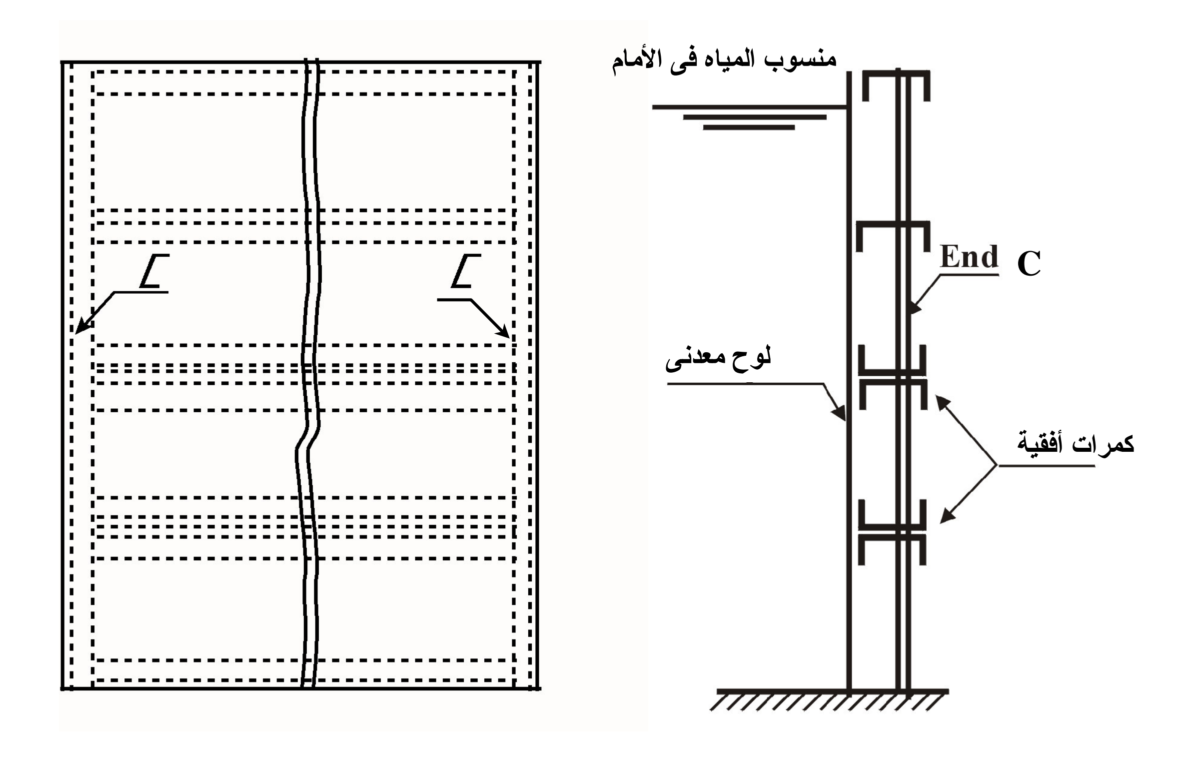
٥-٥-٢ البوابات الحديدية الرأسية

وهى التى تتحرك فى مستوى رأسى وتتكون البوابات من هيكل حديدى يحتوى على كمرات أفقية مركب عليها لوح أمامى من الصلب ومثبت تثبيتا جيدا بهذه الكمرات ويكون عرض الهيكل الحديدى مساويا لعرض فتحة القنطرة بالإضافة إلى مقدار الدخول فى الدروندات ويتحرك هذا الهيكل المعدنى داخل مجارى رأسية مشكلة فى دعامات القنطرة وفى أكتافها ويوضح الشكل (٥-١٧) هذا النوع من البوابات. وفى بعض الحالات يتم تزويد جوانب البوابة بعجل وذلك لتقليل قوى الاحتكاك المتولدة عن حركة البوابة إلى أسفل أو إلى أعلى. ويجب أن توضع طبقة من مادة كاتمة لتسرب الماء أسفل هذه البوابات وكذلك من جوانبها.

وفى بعض الأحيان إذا كانت هذه البوابات ضخمة فإنها تزود بثقل معدنى مكافئ Counter Weight وذلك بهدف تسهيل حركتها وتحتوى البوابات الحديدية بصفة عامة على عدة أنواع منها ما يلى :



شكل (٥-١٦) أخشاب الغماة الأفقية



شكل (٥-١٧) البوابات الحديدية الرأسية

٥-٥-٢-١ البوابات ذات الألواح المعدنية

وهى تستخدم فى إغلاق القناطر ذات الفتحات الضيقة أو لإغلاق خطوط الأنابيب الحاملة للتصرفات المائية وتوضح الأشكال (٥-١٨) نماذج لهذا النوع من البوابات.

٥-٥-٢-٢ البوابات ذات الألواح والكمرات الحديدية

فى هذا النوع من البوابات يتم تثبيت الألواح الحديدية على كمرات ذات مقطع على شكل (I) أو على شكل مجرى Channel . وتكون الألواح الحديدية فى مواجهة الماء وبالتالى فإنه يقع عليها الضغط الأستاتيكى المتولد من الماء بالأمام وتنقله إلى الكمرات الحديدية المثبتة عليها والتى بدورها تنقلها إلى الدروندات عند نقط ارتكازها وتوضع الكمرات الحديدية على مسافات يتم تحديدها بعد بيان شكل توزيع

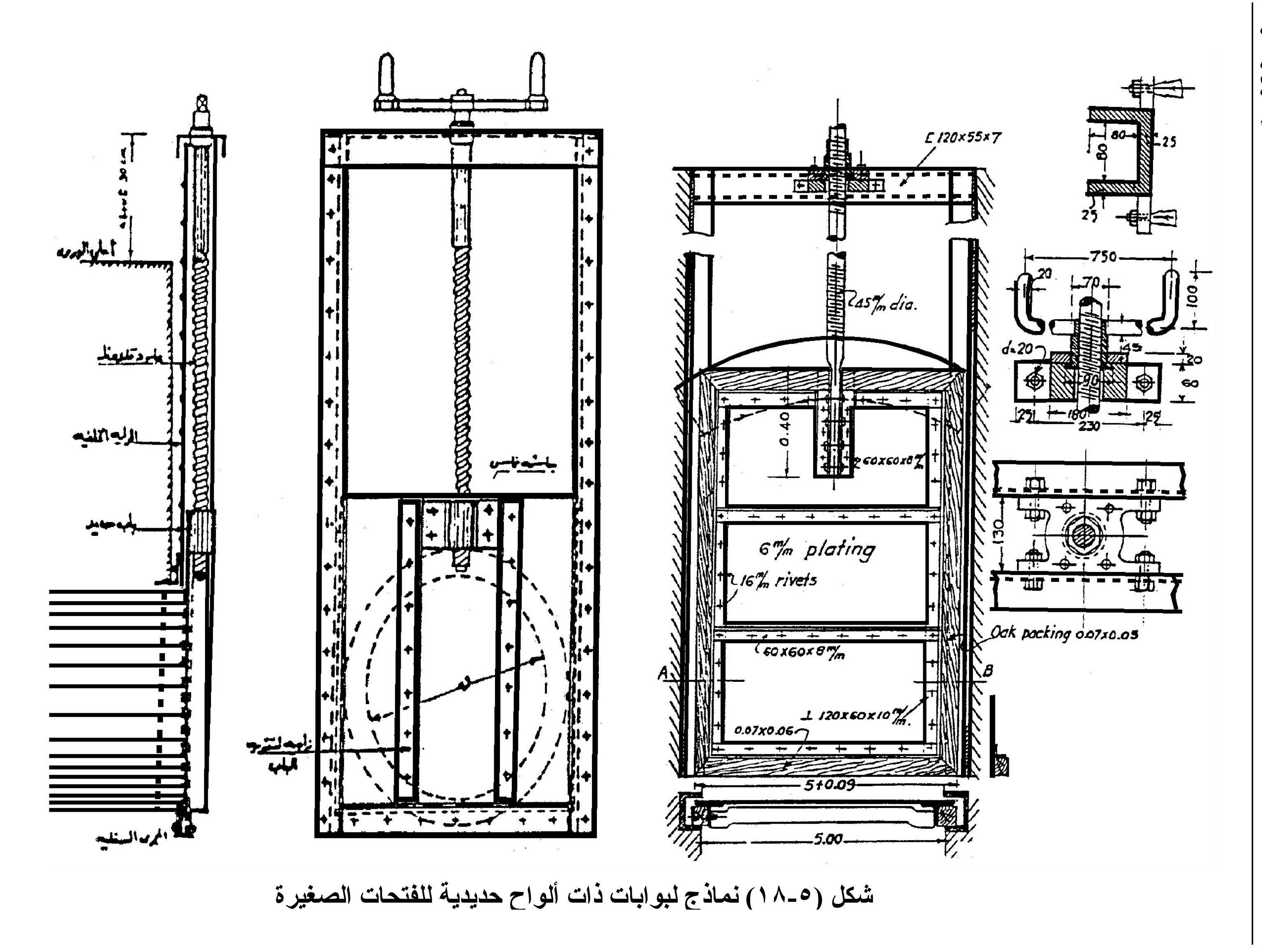
الضغط الأستاتيكى للماء حيث يتم تقسيمه إلى مساحات متساوية ويتم وضع الكمرات الحديدية عند مراكز ثقل هذه المساحات وذلك كما هو مبين فى الشكل (٥-١٩).

٥-٥-٢-٣ البوابات الثنائية لكل فتحة

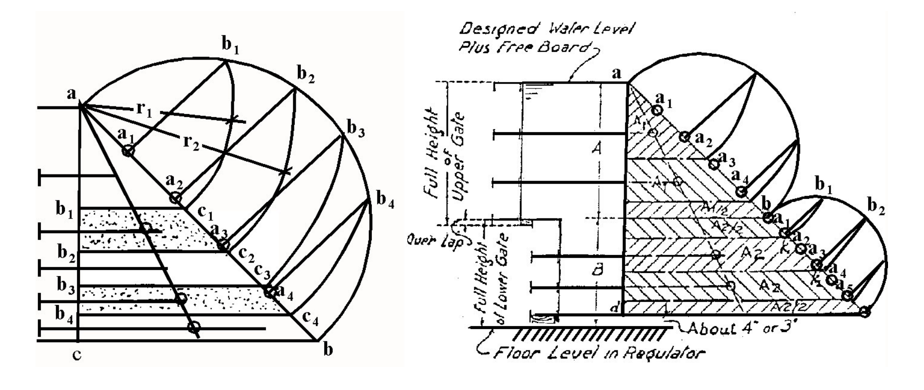
يستخدم هذا النوع من البوابات فى حالة ما إذا كانت الأعماق المائية بالأمام تزيد عن ٤ متر وإذا ما كانت المساحة السطحية للبوابة الواحدة (وهى التى تساوى حاصل ضرب عرض الفتحة والعمق المائى الأقصى بالأمام) أكبر من ١٥ مترا مربعا والهدف من استخدام بوابتين تنزلقان داخل مجريين منفصلين هو تقليل قوى الرفع المطلوبة خاصة لو استخدمت بوابة واحدة وكانت غير مزودة بأوزان تثاقلية أو بعجل على جوانبها لتقليل قوى الاحتكاك. ويجب أن يكون عرض المجرى الذى تتحرك فيه البوابة أكبر من سمك البوابة (عمق الكمرات + سمك اللوح المعدني) بمقدار ٥ سم كما هو موضح بالشكل (٥-٢٠) .
ويراعى أن يكون هناك تداخل بين كل من البوابتين العليا والسفلى مقداره ٠,٢٠ متر وتكون البوابة العليا أعلى من أقصى منسوب بالأمام بمقدار ٠,٢٥ متر.
وبالتالى فإنه يمكن تعيين إرتفاع كل بوابة منهما بالمتر من المعادلة الآتية :
إرتفاع البوابة = (العمق المائى الأقصى بالأمام + ٠,٢٥ + ٠,٢٠) / ٢ (٥-٢٦)

٥-٥-٢-٤ البوابات طراز فهمى حنين

تستخدم بوابة واحدة لكل فتحة وتعمل هذه البوابات عن طريق عجلة تشغيل واحدة تنقل الحركة إلى مجموعة من التروس تؤدى إلى حركة البوابة إما إلى أعلى أو إلى أسفل ويمكن استخدام عجلة تشغيل واحدة فى حركة مجموعة من البوابات إذا ما كانت مرتبطة ببعضها عن طريق عامود سحب واحد والشكل (٥-٢١) يوضح هذا النوع من البوابات.

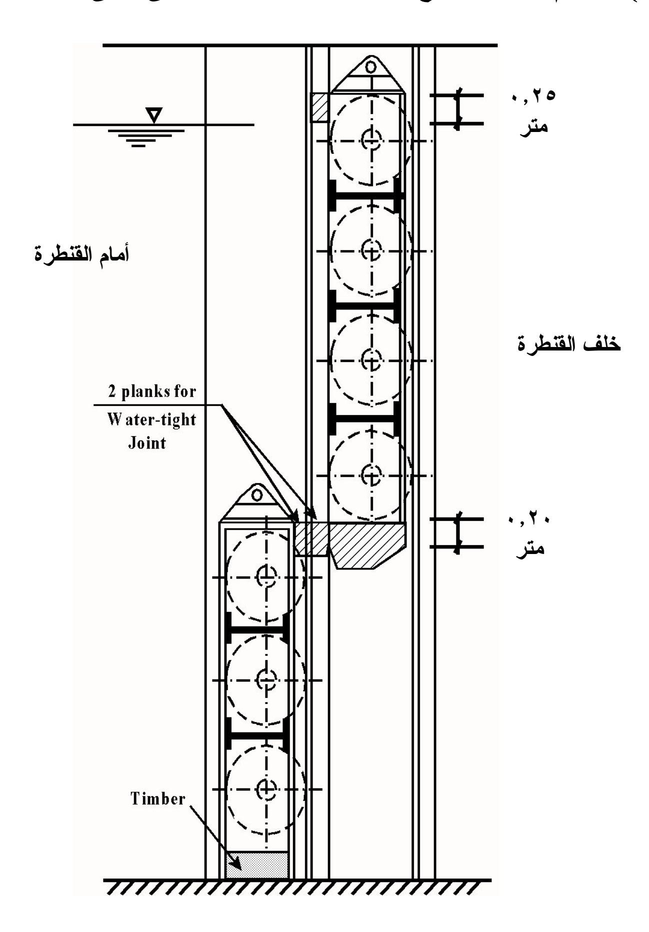


شكل (٥-١٨) نماذج لبوابات ذات ألواح حديدية للفتحات الصغيرة

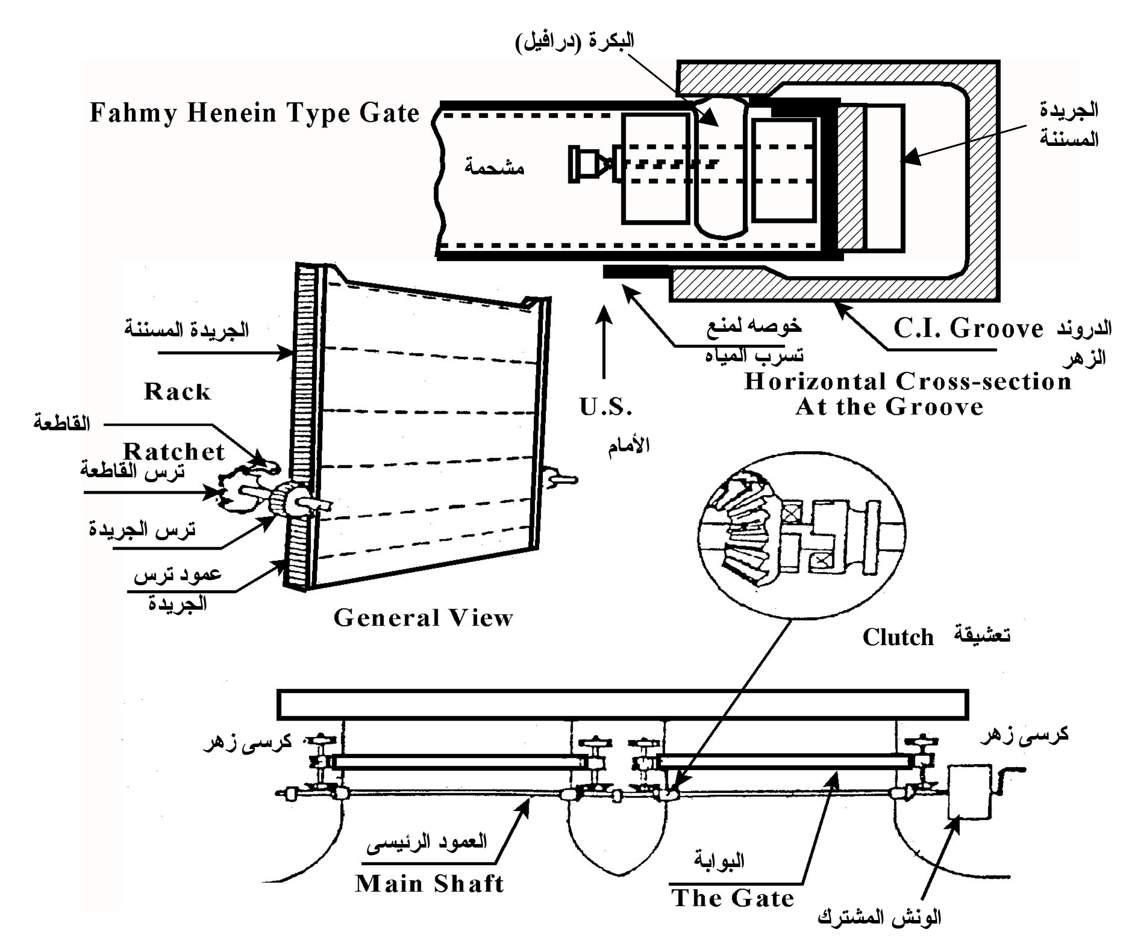


أ- بوابة واحدة   ب- بوابتان لفتحة واحدة

شكل (٥-١٩) تقسيم شكل توزيع الضغط الهيدروستاتيكى على البوابة لمساحات متساوية



شكل (٥-٢٠) البوابات الثنائية لكل فتحة



شكل (٥-٢١) الشكل العام للبوابات طراز فهمى حنين

٥-٥-٣ البوابات الدائرية Radial Gates

٥-٥-٣-١ عام

تتكون هذه البوابات من قطع دائرية تدور حول مفصلة خلال أذرع نصف قطرية كما هو موضح بالشكل (٥-٢٢) وعادة ما يكون اللوح الخارجى للبوابة دائريا ذا نصف قطر ثابت وبذلك فإن محصلة ضغط الماء الأستاتيكى تكون فى اتجاه مركز البوابة وتعتبر قوى الاحتكاك المتولدة نتيجة دوران البوابة صغيرة نسبيا إذا ما قورنت بقيمة قوى الضغط الهيدروستاتيكى المعرضة لها البوابة جهة الأمام. ويفضل استخدام البوابات الدائرية فى الفتحات ذات العروض الكبيرة (أكبر من ٨ متر) وفيما يلى أهم أنواعها :

- البوابات الدائرية العادية Ordinary Radial Gates
- البوابات الدائرية المدعمة Counter forted Radial Gates
- البوابات الأسطوانية للفتحات الكبيرة (أكبر من ٢٠ متر) Drum Gates

٥-٥-٣-٢ التركيب الإنشائى للبوابات الدائرية

- الحديد الخارجى للبوابة يشكل جزءا من أسطوانة لها نصف قطر (R) تتراوح قيمته ما بين (١,٢ - ١,٥)H حيث (H) أكبر عمق مائى أمام القنطرة وفى بعض الأحيان يصل نصف القطر (R) إلى (٢,٠٠ - ٢,٥٠) H وذلك إذا ما كانت مفصلة البوابة مثبتة فى منسوب أعلى من منسوب الماء بالأمام وفى جميع الحالات يجب أن يكون منسوب المفصلة أعلى من منسوب المياه فى الخلف.

- الهيكل الحديدى ويعمل على نقل ضغط الماء الذى يؤثر على اللوح الخارجى للبوابة من خلال ذراعين دائريين إلى المفصلة O شكل (٥-٢٢).
- يمكن تقدير وزن البوابة بصفة مبدئية من المعادلة :

$$G = 0.15\,(WL)^{0.70} \qquad (5\text{-}27)$$

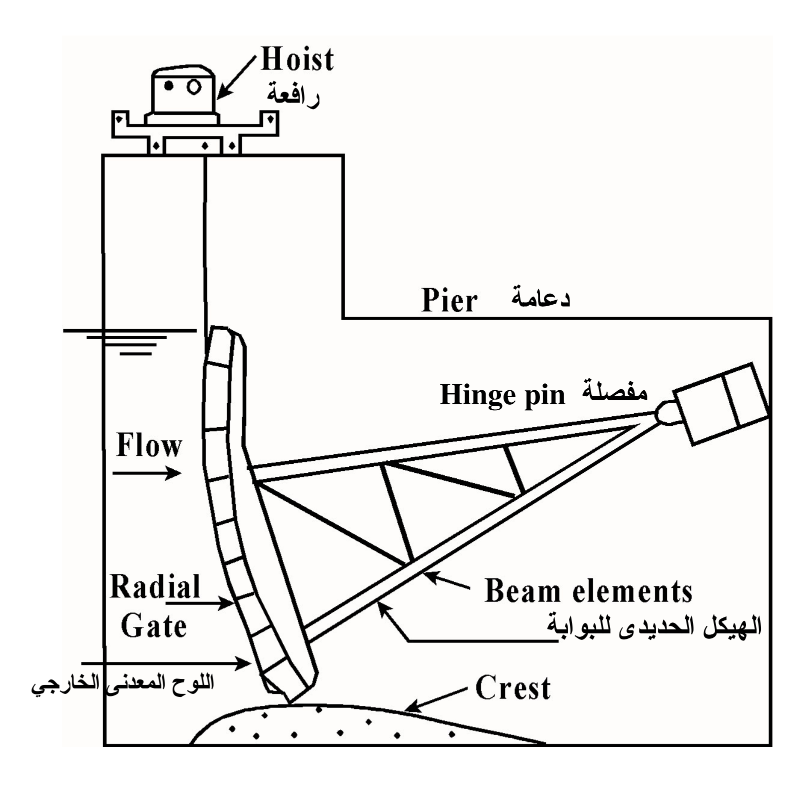
حيث

G = وزن البوابة بالطن
W = قوة ضغط الماء على البوابة بالطن
L = عرض فتحة البوابة بالمتر

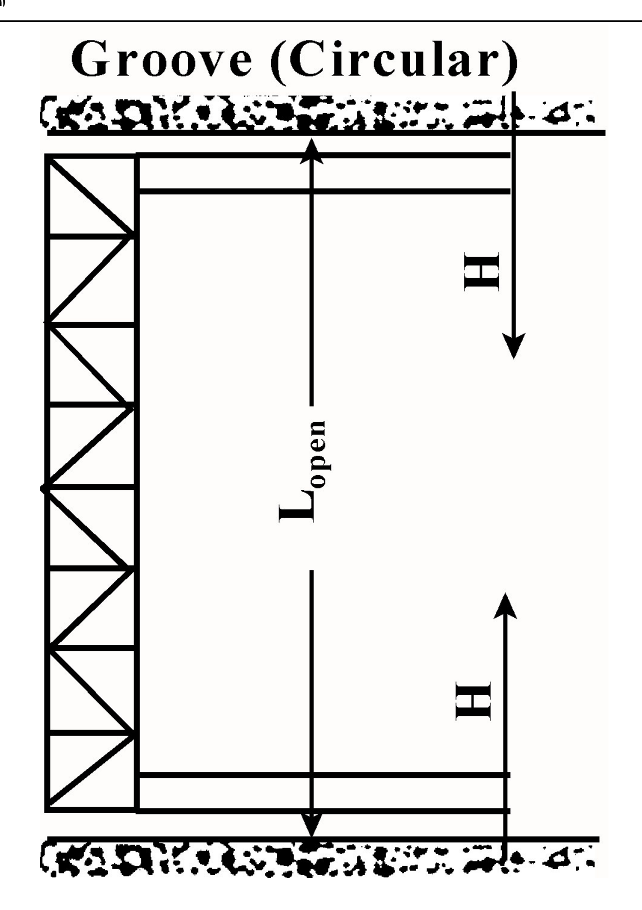
ويوضح الشكل (٥-٢٣) وضع البوابة فى الخلوص المعد لها داخل دعامات القنطرة.

٥-٥-٤ تصميم البوابات الحديدية المستوية

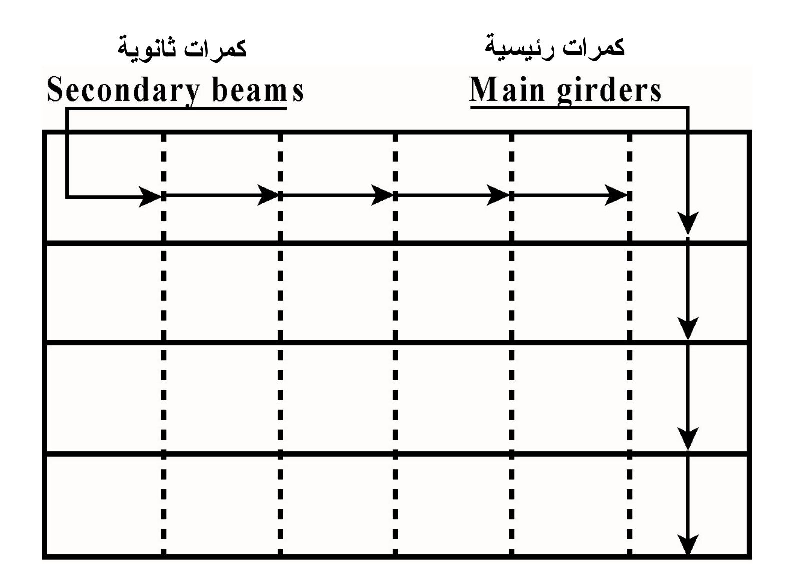
تتكون البوابات الحديدية المستوية من لوح حديدى مثبت على مجموعة من الكمرات الأفقية وكمرتين رأسيتين عند طرفى البوابة وتنزلق البوابة فى مجارى رأسية. وقد تستخدم كمرات ثانوية رأسية لتقليل سمك اللوح الخارجي. ويكون مقطع الكمرات الرئيسية على شكل (I) أو بشكل مجرى ([ ) يكون مقطع الكمرات الثانوية بهيئة زوايا (L) وفى حالة العروض الكبيرة للفتحات فإنه عادة ما تكون البوابة الحديدية مكونه من هيكل معدنى. وتوضح الأشكال (٥-٢٤) ، (٥-٢٥) ، (٥-٢٦) نماذج لبوابات حديدية مستوية.



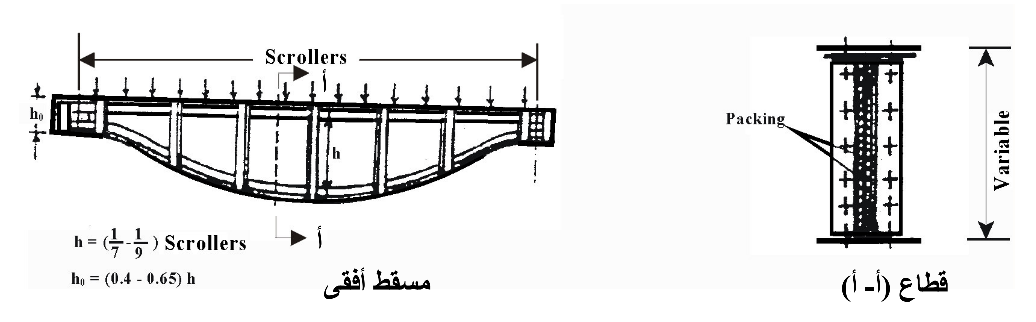
شكل (٥-٢٢) الشكل العام للبوابات الدائرية



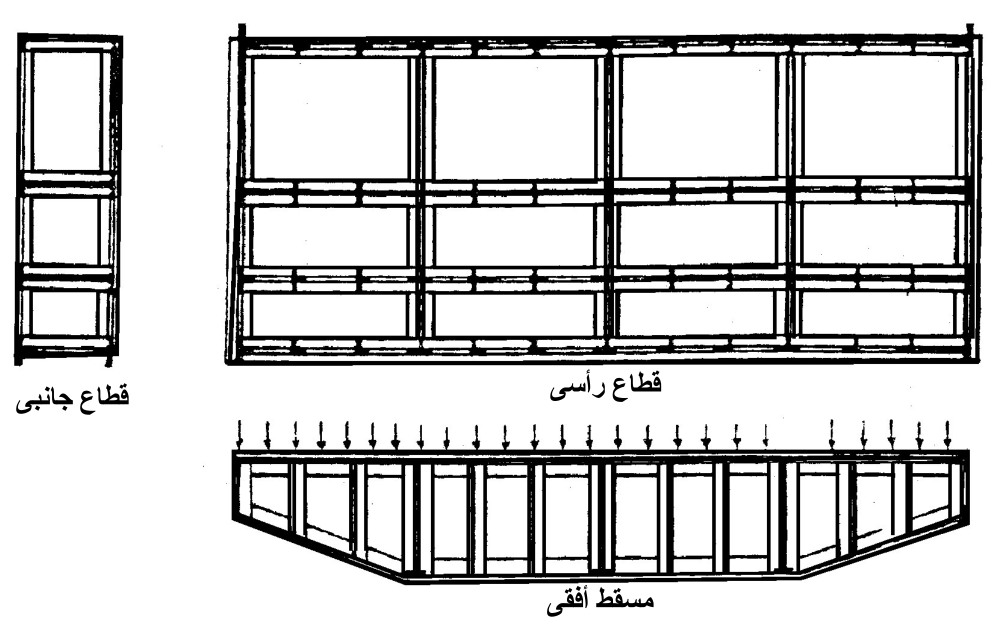
شكل (٥-٢٣) وضع البوابة الدائرية فى الخلوص المعد لها داخل دعامات القنطرة



شكل (٥-٢٤) تدعيم البوابات المستوية بكمرات أفقية رئيسية وكمرات رأسية ثانوية



شكل (٥-٢٥) تدعيم البوابات المستوية بكمرات أفقية لوحيه ذات عزم قصور ذاتى متغير



شكل (٥-٢٦) تدعيم البوابات المستوية بكمرات أفقية رئيسية ورأسية ثانوية

٥-٥-٤-١ الكمرات الأفقية

يتم تقسيم الضغط الهيدروستاتيكى الكلى بالتساوى على الكمرات الأفقية كما هو مبين بالشكل (٥-١٩) فإذا كان (n) عدد الكمرات الأفقية و (W) مقدار الضغط الهيدروستاتيكى الكلى فإن الحمل لكل متر طولى من الكمرة (w) يساوى (W/n.S) حيث (S) عرض الفتحة (البحر) ويكون عزم الانحناء الأقصى للكمرة فى منتصفها مساويا :

$$M = (w\,.S^2\ /8) = \frac{W}{n\,.S}\,\frac{S^2}{8} = W\,S\,/\,8\,n \qquad (5\text{-}28)$$

ويحسب معامل المقطع Section modulus للكمرات المطلوبة (Z) من المعادلة

$$Z = M\,/\,f \qquad (5\text{-}29)$$

حيث f الإجهاد المسموح به للحديد المستخدم فى صنع الكمرات

٥-٥-٤-٢ سمك اللوح الخارجى للبوابات

عند تصميم اللوح الخارجى للبوابات والمحمول على أربعة جوانب فإنه يمكن اعتبار أن اللوح يتحمل حملا منتظما وبفرض أن اللوح مثبت عند محيطه الخارجى تثبيتا حرا وإذا كانت (P) هى شدة الضغط الهيدروستاتيكى لكل وحدة مساحة فى اللوح بالطن لكل متر مربع و (t) سمك اللوح بالسنتيمتر و (f) هو الإجهاد المسموح به للحديد المصنوع منه البوابة بالطن لكل سنتيمتر مربع و (C) هو الطول العمودى على قطر اللوح بالمتر كما هو موضح بالشكل (٥-٢٧) و μ هو معامل تتراوح قيمته بين ٠,٧٥ إلى ١,١٢ فإنه يمكن حساب سمك اللوح من المعادلة الآتية :

$$t = C\sqrt{\mu P / 2f} \qquad (5\text{-}30)$$

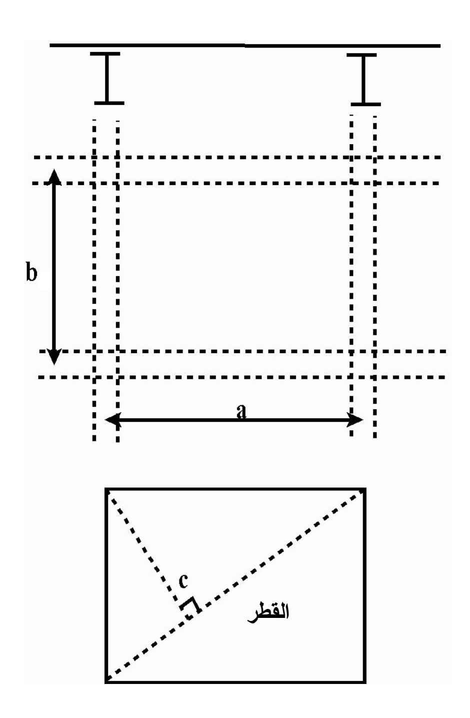
ويزاد السمك المحسوب من المعادلة السابقة بمقدار ٠,٢ سم كمعامل أمان ضد الصدأ وفى جميع الحالات لا يقل سمك اللوح الحديدى عن ١ سم.

٥-٥-٥ القوى المطلوبة لرفع البوابات

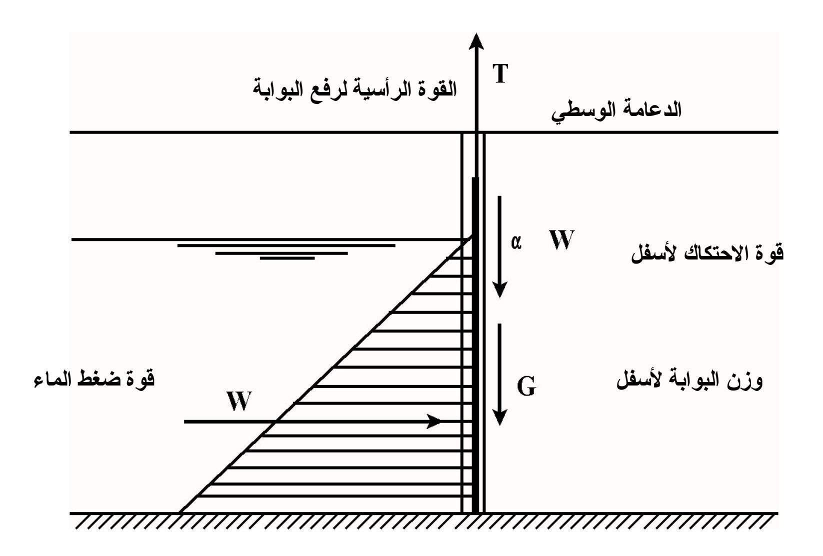
كما هو موضح بالشكل (٥-٢٨) فإن القوة الرأسية المطلوبة لرفع البوابة بالطن (T) يجب أن تساوى على الأقل وزن البوابة بالطن (G) بالإضافة إلى قوة الاحتكاك المتولدة نتيجة حركة البوابة عند جانبيها والتى تساوى حاصل ضرب معامل الاحتكاك α وقوة الضغط المائى الكلية على البوابة W :

$$T = G + \alpha W \qquad (5\text{-}31)$$

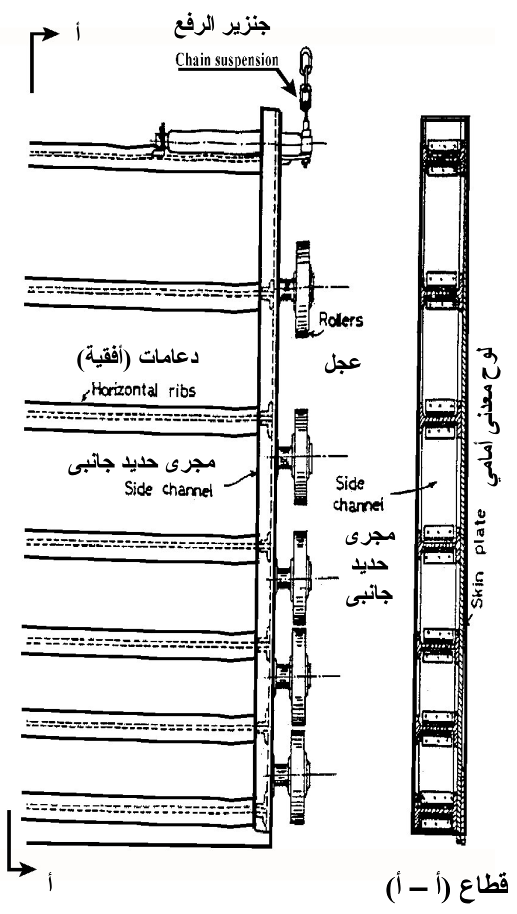
وتتراوح قيمة المعامل α بين (٠,٢٥ - ٠,٣٤) ويمكن تقليل قيمة القوة المطلوبة لرفع البوابة (T) بتزويد البوابة بعجل كما هو موضح بالأشكال (٥-٢٠) ، (٥-٢٩) وبالتالى يقل معامل الاحتكاك إلى ما بين (٠,٠٢ - ٠,١).



شكل (٥-٢٧) الأبعاد اللازمة لإيجاد سمك اللوح الخارجى للبوابات



شكل (٥-٢٨) توزيع القوى الأفقية والرأسية على البوابات المستوية



شكل (٥-٢٩) مسقط رأسى يوضح العجل (البكرات) وجنزير الرفع والكمرات العرضية الأفقية لبوابة حديدية مستوية

٥-٥-٦ الأوناش المتحركة ومنشأ رفع البوابات

عادة ما تستخدم الأوناش المتحركة فى رفع البوابات التى تستخدم فى إجراء الموازنات على القناطر المزودة ببوابتين لكل فتحة من فتحاتها وتوضع هذه الأوناش على الجانب الأمامى للقنطرة وتتحرك على قضبان مثل قضبان السكك الحديدية مثبتة على كامل عرض القنطرة ويسمى المنشأ الذى يحمل القضبان والونش المتحرك منشأ رفع البوابات Gate lifting structure ويوجد نوعان لهذا المنشأ هما :

النوع الدبشى Masonry type

وفى هذا النوع تثبت القضبان على حائط عقدى Arched wall مبنى على الفتحات. يتم استخدام نوع من الحجارة له بروز طوله يتراوح بين ٢ - ٥ سم لتحسين واجهة المنشأ من اتجاه الأمام والشكل (٥-٣٠) يوضح هذا النوع والذى يستخدم عادة فى حالة ما إذا كان الكوبرى فوق القنطرة من النوع المعقود Fly arch وهذا النوع هو الأكثر انتشارا فى معظم قنوات الرى فى مصر.

النوع الخرسانى Concrete type

عندما يكون الكوبرى فوق القناطر مصنوعا من الخرسانة المسلحة فإنه من غير المناسب بناء حوائط من الدبش المعقود لتثبيت قضبان الونش عليها وبالتالى فإنه من المستحسن أن يكون هذا المنشأ من الخرسانة المسلحة حيث يتم تثبيت القضبان على كمرات خرسانية تمتد بعرض الفتحات وتحمل هذه الكمرات على أعمدة منشـأة على دعامات القنطرة حيث يتم إنشـاء عمودين على كل دعامة كما هو موضح بالشكل (٥-٣١). ويجب ربط الكمرات مع بعضها عند النهايات حيث أنها مثبتة على الأعمدة تثبيتا حرا.

وتؤخذ الاعتبارات التالية فى تصميم منشأ رفع البوابة :

- الفارق بين منسوب أعلى القضبان الحديدية ومنسـوب أعلى الدعامة (h_r) (حسب الأشكال (٥-٣١) ، (٥-٣٢)) يجب أن يساوى إرتفاع البوابة مضافا إليه ٠,٥٠ متر وذلك حتى يمكن السماح برفع إحدى البوابتين للإصلاح.
- تؤخذ المسافة العرضية بين العمودين المقامين على كل دعامة (δ) حسب الشكل (٥-٣١) بالإستعانة بالجدول التالى :

عرض الفتحة (البحر) S بالمتر	المسافة (δ) بالمتر
٣	١
٤	١
٥	١,٢٥
٦	١,٥٠
٨	١,٨٠

- يؤخذ العرض الكلى لمجارى البوابتين W_g (Width of double groove) كما هو موضح بالشكل (٥-٣١) بالاستعانة بالجدول التالى :

عرض الفتحة (البحر) S بالمتر	**عرض مجارى البوابات** (W_g) بالمتر
٣	٠,٦٠
٤	٠,٧٥
٥	٠,٩٠
٦	١,٠٠
٨	١,٢٠

- يؤخذ عمق مجارى البوابات داخل الدعامات والأكتاف (d) كثلث قيمة العرض الكلى لمجارى البوابتين (W_g) ويجب أن يكون الجزء من الدعامة المحصور بين مجارى البوابات مسلحا تسليحا أفقيا ورأسيا بحديد تسليح قطر ١٣ مم وعلى مسافات بينية ١٥ سم.
- يوضح الجدول التالى قيمة الحمل الميت للونش المتحرك P بدلالة قيمة عرض الفتحة (S). وبصفة عامة فإن قيمة (P) يجب ألا تقل عن وزن أثقل بوابة تستخدم فى غلق فتحة القنطرة وفى حالة بدء حركة الونش فإنه يجب إضافة ٢٠ % من قيمة (P) كوزن زائد يعادل الصدمات.

عرض الفتحة (البحر) S بالمتر	**الحمل الميت للونش المتحرك P (طن)**
٣	٣
٤	٤
٥	٥
٦	٦
٨	٨

- تعتبر حالات التحميل المبينة فى الشكل (٥-٣٢) فى تصميم أعمدة وكمرات منشأ رفع البوابات من الخرسانة المسلحة.

٥-٥-٧ أنواع أخرى من البوابات

بالإضافة إلى ما تقدم توجد أنواع أخرى من البوابات التى بدأ استخدامها فى المشروع القومى لتطوير الرى ولعل أبرز هذه الأنواع البوابات التى تحافظ على منسوب الخلف ثابتا وتلك ذات التصرف الثابت.

٥-٥-٧-١ بوابات المنسوب الثابت فى الخلف Constant downstream level

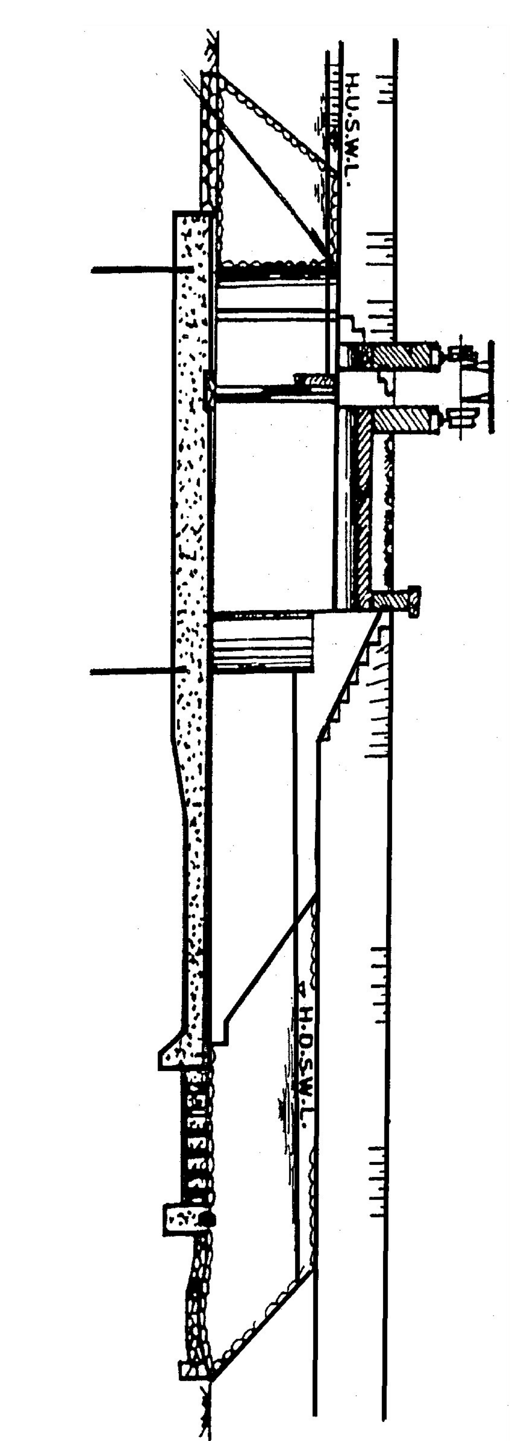
وهذا النوع من البوابات يعمل أوتوماتيكيا بحيث يظل منسوب الماء بالخلف فى القناة أو فى الحوض ثابتا طبقا لما هو مطلوب لإستيفاء أغراض الرى وذلك فى ظل تذبذب مناسيب الأمام وبصرف النظر عن التصرف المار أسفل البوابة. وهذا التحكم الملحوظ فى منسوب الخلف يأتى عن طريق تحرك البوابة فى الاتجاه الرأسى (سواء إلى أعلى أو إلى أسفل) عن طريق الدوران على محور. والشكل (٥-٣٣) يوضح هذا النوع من البوابات والتى تتكون بصفة أساسية من بوابة وعوامة. البوابة من الطراز الورقى أسطوانية

الشكل ولها هيكل معدنى وقاعدة تحميل والعوامة ذات مقطع أسطوانى وتشكل مع البوابة جسما واحدا جاسئا.
وتدور كل من البوابة والعوامة حول محور (مفصلة) تثبت على منسوب الخلف المطلوب وعند الضبط الابتدائى للبوابة يجب أن يقع مركز ثقل الجزء المتحرك منها فى الجزء المطلوب وذلك عن طريق وزن متحرك Counter weight مثبت على الهيكل أو بواسطة ملء خزانين للمياه حسب الثقل المطلوب أحدهما يوضع على الهيكل والثانى على العوامة ولا يوجد تأثير لقوة الضغط الأستاتيكى للمياه على البوابة إذ أن هذه القوة تتجة مباشرة لمحور (مفصلة) البوابة وتكون العزوم الناتجة عن وزن البوابة وقوى الطفو هى التى تؤثر فقط على اتزان البوابة. فإذا ارتفع منسوب المياه بالخلف زادت قوة الطفو على العوامة مما يؤدى لحركتها لأعلى وبالتالى حركة البوابة لأسفل مما يقلل من التصرف الوارد من الأمام للخلف ليستعيد المنسوب الخلفى قيمته التصميمية المطلوبة.

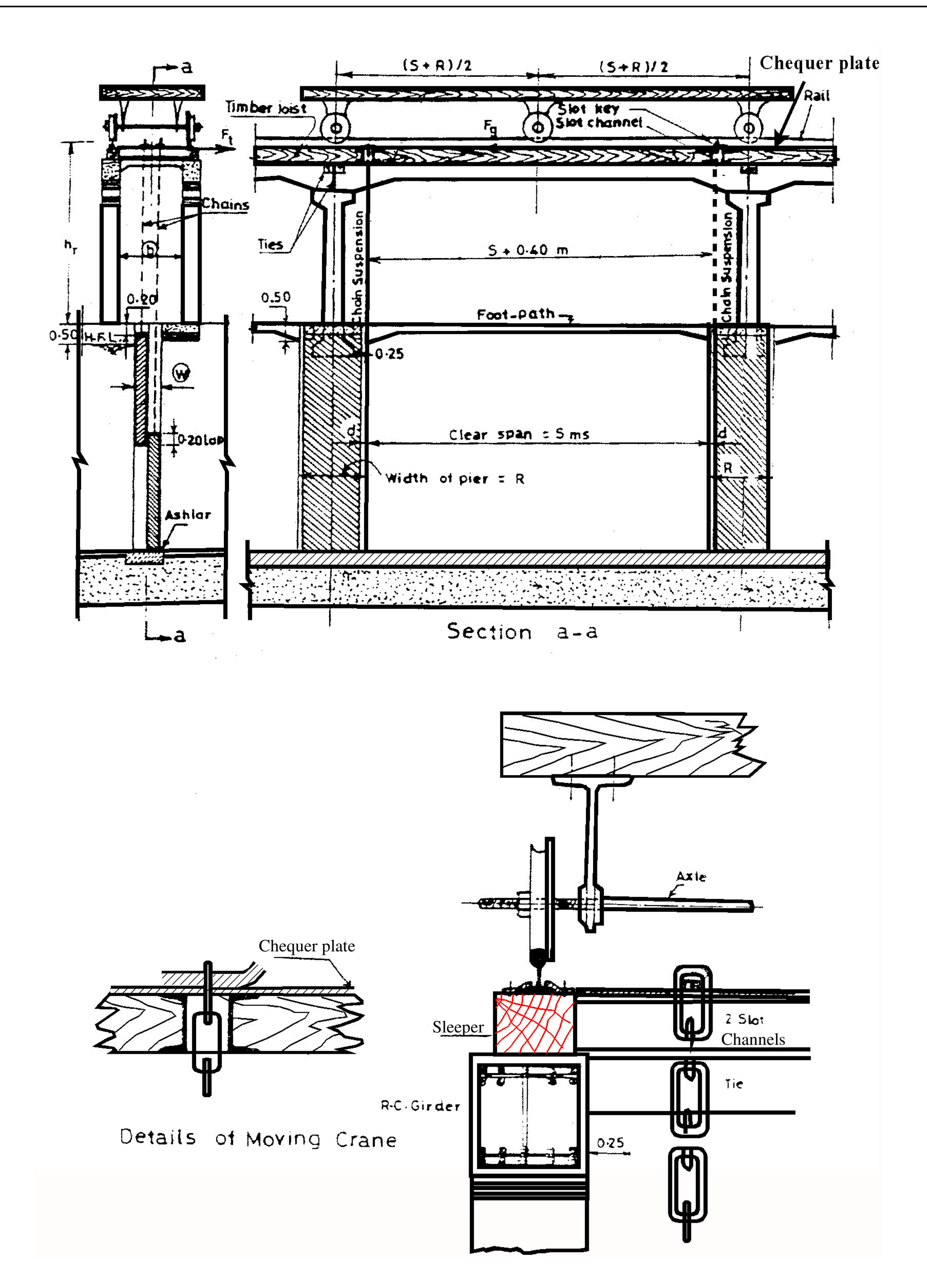
٥-٥-٧-٢ بوابات التصرف الثابت

وفى هذا النوع من البوابات يتم إنشاء عتب ذى منسوب قمة ثابت أسفل البوابة التى تزود بلوح مائل Baffle plate كما هو موضح بالشكل (٥-٣٤).

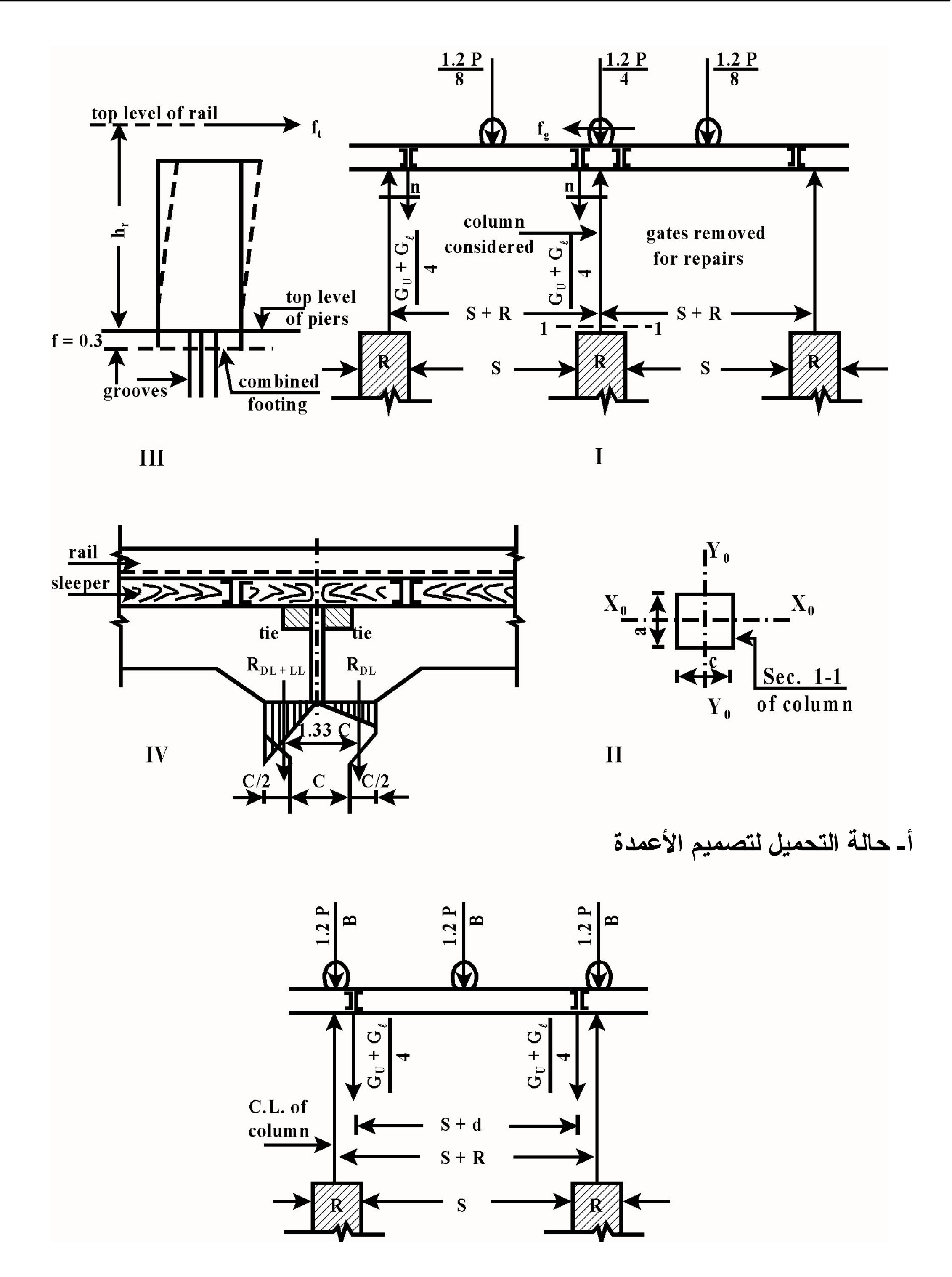
وعند بدء التشغيل يكون منسوب الأمام منخفضا وبالتالى فإن التصرف الذى يمر من أعلى العتب يكون حرا فى هذه الحالة كما هو مبين فى الشكل (٥-٣٤)أ . وعندما يبدأ منسوب الأمام فى الإرتفاع حتى يصل إلى منسوب أوطى نقطة فى اللوح المائل للبوابة فحينئذ ستعمل البوابة والعتب على إمرار التصرف فى حالة تشابه التصرف المار من خلال فتحة ولكن فى هذا الوضع يكون معامل التصرف صغيرا وسيكون هناك أيضا تخفيض فى حجم مقذوف الماء المندفع من خلال البوابة والشكل (٥-٣٤) ب يوضح هذه المرحلة. وسوف تزداد قيمة التخفيض فى حجم الماء المندفع من الخلف عندما يستمر منسوب الأمام فى الإرتفاع مما يعمل على التحكم فى قيمة التصرف المار شكل (٥-٣٤) ج .



شكل (٥-٣٠) منشأ رفع البوابات من النوع الديشى



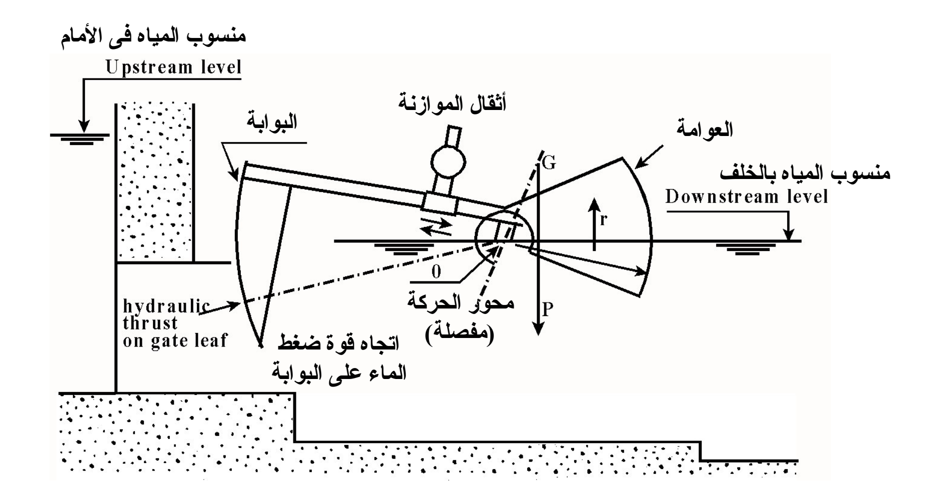
شكل (٥-٣١) تفصيلات منشأ رفع البوابات من الخرسانة المسلحة



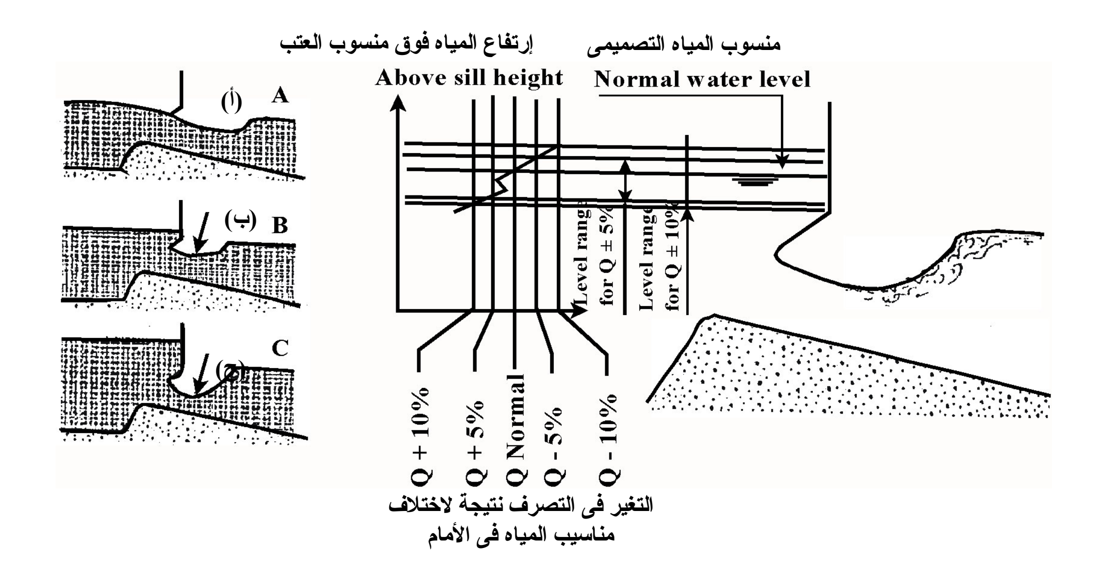
أ- حالة التحميل لتصميم الأعمدة

ب- حالة التحميل لتصميم الكمرات

شكل (٥-٣٢) حالات التحميل لتصميم أعمدة وكمرات منشأ رفع البوابات من الخرسانة المسلحة



شكل (٥-٣٣) مبدأ تشغيل بوابات المنسوب الثابت فى الخلف



شكل (٥-٣٤) مبدأ تشغيل بوابات التصرف الثابت

٥-٦ المراجع

1. El-Kateb, M.M.,"Irrigation Design II: Weirs and Regulators". Class Notes, Cairo University, Faculty of Engineering, Giza, Egypt, (1984).

2. Leliavsky, S., "Irrigation Engineering: Canals and Barrages". Chapman and Hall, London, England, (1963).

3. Leliavsky, S, "Design of Dams for Percolation and Erosion", Chapman and Hall, london, England, . (1965).

4. Novak, P., Moffat A., Nalluri C. and R. Marayanan "Hydraulic Structures". Second edition, E&FN Spon, London, UK, (1996).

5. Zipparro, V.J. and Hasen, H. (Editors), "Davis Handbook of Applied Hydraulics", McGraw Hill Boock company, New york, (1992).

الباب السادس
السدود Dams

٦-١ تصنيف السدود
يمكن تصنيف السدود إلى عدة أقسام وذلك حسب الغرض من الإستخدام أو التصميم الهيدروليكى أو مواد الإنشاء.

٦-١-١ التصنيف تبعا للإستخدام
وفيه يتم تصنيف السدود تبعا للغرض الذى تؤديه كسدود التخزين Storage وسدود التحويل Diversion وسدود الإحتجاز أو التعويق Detention .

٦-١-١-١ سدود التخزين
وهى تنشأ لتخزين المياه فى الفترات التى تزيد فيها عن الحاجة لإستخدامها فى أوقات العجز وهذه الفترة قد تكون يومية أو موسمية أو سنوية أو لفترات أطول من ذلك. وتصنف سدود التخزين مرة أخرى تبعا للغرض من التخزين كأن تستخدم للإمداد بمياه الشرب والإستهلاك الأدمى أو للرى والزراعة أو لتوليد الطاقة أو للوقاية من الفيضانات أو للملاحة أو للتنزه والترفيه أو للحياة البرية وإنتاج الأسماك وقد يقوم السد بخدمة أكثر من غرض من هذه الأغراض وفى هذه الحالة يسمى سدا ثنائيا أو متعدد الأغراض.

٦-١-١-٢ سدود التحويل
وهى سدود تنشأ لرفع منسوب المياه أمامها (كما فى حالة القناطر) لتغذية وسائل نقل المياه الآخذة من الأمام مثل القنوات أو الأنابيب كما أنها قد تستخدم فى تحويل المياه من مجرى النهر الرئيسى إلى موقع تخزين خارج المجرى لمختلف الإستخدامات.

٦-١-١-٣ سدود التعويق
وهى تنشأ لتأخير سريان الفيضان ويمكن تقسيمها لثلاثة أنواع :
- سدود تخزين مؤقت حيث يتم تخزين المياه فيها ثم إعادتها للمجرى الرئيسى بمعدلات مناسبة.
- سدود تغذية وهى التى تحافظ على المياه لفترات طويلة حتى تتسرب إلى طبقات منفذة تحتية أو جانبية وقد تسمى بسدود نشر المياه Water spreading .
- سدود تجميع الرواسب والنفايات وهذه السدود تنشأ لتجميع الرواسب التى تنقلها مياه المجرى من مناطق التجميع وسفوح الجبال وروافد النهر.

٦-١-٢ التصنيف تبعا للتصميم الهيدروليكى
تصنف السدود إلى سدود إنسكابية Overflow dams أو سدود غير إنسكابية Non overflow dams أو سدود مركبة.

٦-١-٢-١ السدود الإنسكابية
وهى السدود التى تصمم على أساس أن يمر التصرف من فوقها ويجب أن تنشأ من مواد مقاومة للنحر والتآكل الذى قد يصاحب إندفاع المياه بسرعات عالية وعمق صغير فوق السد.

٦-١-٢-٢ السدود غير الإنسكابية
وهى التى تصمم بحيث لا يمر التصرف فوقها وقد تبنى بالمواد الردمية من التربة والصخور.

٦-١-٢-٣ السدود المركبة
ويكون جزء من السد إنسكابياً من الخرسانة والجزء الآخر غير إنسكابى من المواد الردمية.

٦-١-٣ التصنيف تبعا لمواد الإنشاء
تصنف السدود أيضا تبعا للمواد التى يتكون منها السد إلى سدود ردمية ترابية ، سدود ردمية ركامية ، سدود ردمية ركامية ترابية ، سدود خرسانية تثاقلية ، سدود بنائية (حجرية) تثاقلية ، سدود خرسانية عقدية ، سدود خرسانية أو بنائية ذات دعامات ، سدود خشبية وأيضا سدود من مواد أخرى.

٦-٢ السدود الترابية

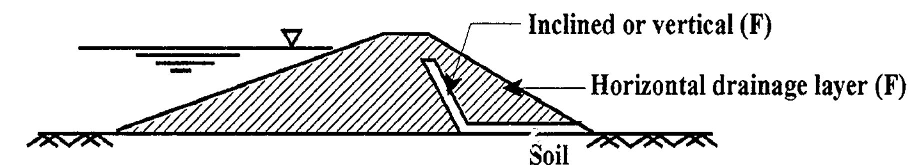
٦-٢-١ مقدمة
تتكون السدود الترابية من تربة مناسبة تؤخذ من متارب محلية أو من ناتج حفر مناطق أخرى يتم نقلها ودمكها على طبقات بوسائل ميكانيكية فبعد تجهيز الأساس تنقل الأتربة المختارة وتنشر على طبقات بسمك مناسب ويتم دمكها بهراسات من نوع أرجل الغنم أو بهراسات ثقيلة ذات عجلات مطاطية أو بزحافات إهتزازية أو بمعدات ضاغطة ولعل إحدى مميزات السدود الترابية إمكان إستخدامها فى الأساسات الرخوة ويوضح الشكل (٦-١) بعض القطاعات للسدود الترابية يظهر بها المناطق المختلفة للردم وطرق التحكم فى الرشح.

٦-٢-٢ مبادئ وإحتياجات التصميم

٦-٢-٢-١ مبادئ التصميم
يشمل تصميم السدود الترابية والركامية كثيرا من الأمور التى يلزم أن تؤخذ فى الإعتبار قبل البدء فى إجراء دراسة إتزان تلك السدود. فإنه بعد عمل البحوث الجيولوجية وما تحت سطح التربة فإن المواد الأرضية ومواد الركام الممكن إستخدامها يجب أن تدرس بعناية. وتتضمن تلك الدراسات تحديد كميات المواد اللازمة للمنشأ وظروف إمكانية تواجدها مع تقدير الخواص الفيزيائية المطلوبة لها.

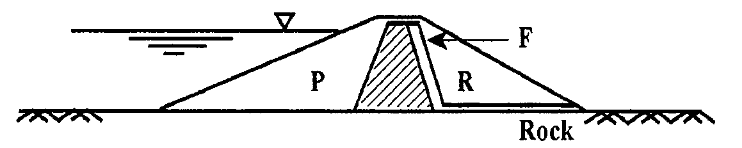
إن معالجة الأساسات وإستقرار أجنحة السد وعوامل الرشح وإتزان الميول المتاخمة للخزان وقدرته على إستيعاب المياه المختزنة كل ذلك يدخل فى عناصر التصميم ويلزم دراسة هذه العناصر ميدانيا وببدائل مختلفة قبل الدخول فى التصميم التفصيلى للإتزان أو تحليلات الرشح.

ويجب أخذ النقاط التالية بعين الإعتبار :
- أثر المناخ السائد طول فترة الإنشاء مما قد يؤثر على نوعية وصلاحية المواد المستخدمة فى الردم.
- علاقة سعة الوادى بطراز السد وكيفية تحويل مجرى النهر.
- معالم وطبوغرافية الوادى وأثرها على التذبذب فى مناسيب المياه والحماية المطلوبة للميول.
- مدى النشاط الزلزالى فى المنطقة.
- أثر المنشأ على البيئة.



a. Homogeneous dam with internal drainage on impervious foundation

أ- سد متجانس مع طبقة صرف داخلى فوق أساسات منفذة

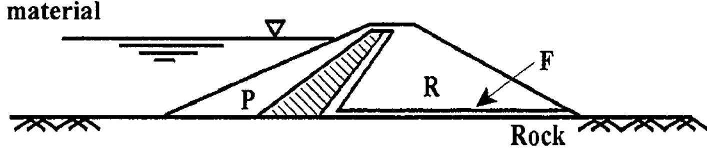


b. Central core dam on impervious foundation

ب- سد ذو نواة مركزية فوق أساسات غير منفذة

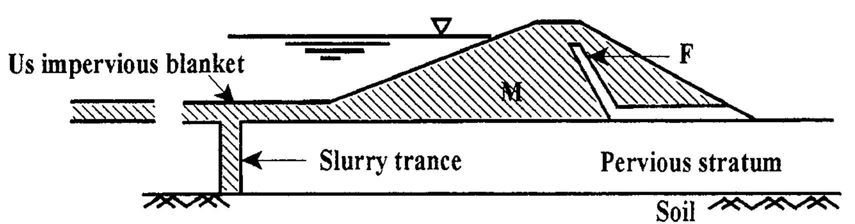
Legend

M = Impervious
P = Pervious
R = Random
F = Select pervious material
US = Upstream



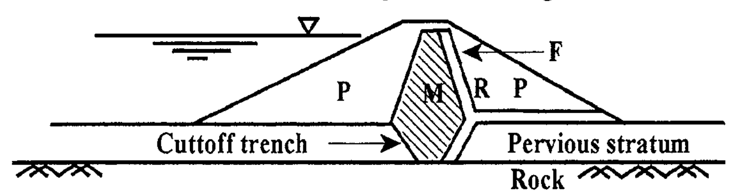
c. Inclined core dam on impervious foundation

ج- سد ذو نواة مائلة فوق أساسات غير منفذة



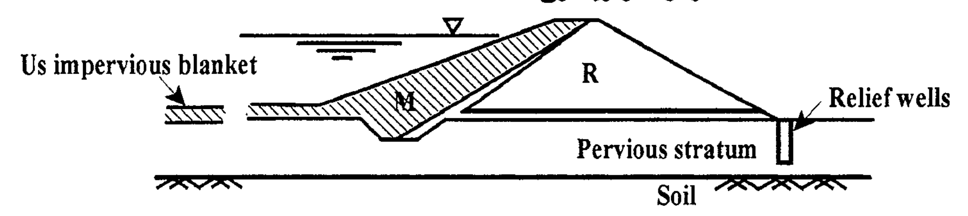
d. Homogeneous dam with internal drainage on pervious foundation

د- سد متجانس مع طبقة صرف داخلى فوق أساسات منفذة



e. Central core dam on pervious foundation

هـ- سد ذو نواة مركزية فوق أساسات منفذة



f. Dam with upstream impervious zone on pervious foundation

و- سد ذو منطقة أمامية غير منفذة فوق أساسات منفذة

شكل (٦-١) أنواع مختلفة من السدود الترابية

٦-٢-٢-٢ إحتياجات التصميم

يلزم مراعاة الإحتياجات التالية فى تصميم السدود الترابية والركامية :

- يجب أن يكون جسم السد والأساس والأكتاف ثابتة ومتزنة أثناء عمليات الإنشاء والتشغيل.
- يجب التحكم فى الرشح خلال جسم السد والأساس والأكتاف والتأكد من منع ظاهرة فوران ونخربة التربة Piping التى تحدث عندما تزيد قيمة الإنحدار الهيدروليكى عن حد معين وظاهرة إنزلاق طبقات مرتكزة على طبقات أخرى مشبعة Sloughing أو عمليات هروب المواد الناعمة أو ذوبانها وفقدانها فى الشقوق والفواصل.
- يجب أن يكون الإرتفاع الحر (المسافة بين سطح المياه فى الخزان وقمة السد) كافيا لمنع إنسكاب المياه من أعلى السدود الترابية بسبب الأمواج ولإعطاء مسافة سماح لهبوط كل من الأساس وجسم السد.
- يجب أن تكون سعة المفيض والمأخذ كافية لمنع إنسكاب المياه فوق السد.
- يجب إعطاء العناية الكافية لمنع النمو المحتمل للضغوط المسامية فى الأساس وعلى وجه الخصوص فى طبقات المواد القابلة للإنضغاط والتى تشمل أنواع الطين الرسوبى الطبقى.

٦-٢-٢-٣ عوامل إختيار السدود الترابية والركامية

إن طبيعة الموقع هى التى تؤدى إلى إختيار سد ترابى أو سد ركامى من بين الأنواع المختلفة للسدود وتعتبر الظواهر التالية محفزة لإختيار السدود الردمية :

- إتساع وادى المجرى.
- عدم وجود أكتاف صخرية صلبة.
- وجود أعماق كبيرة من التربة تغطى صخور القاع.
- وجود نوعية ضعيفة من صخور القاع لا تلائم أحمال السدود التثاقلية.
- وجود وفرة من الطمى المناسب أو ركام الصخر.
- وجود موقع جيد لمفيض بسعة كافية.

٦-٢-٢-٤ أسباب إنهيار السدود الترابية والركامية

تشير الإحصاءات المرتبطة بإنهيار السدود الردمية إلى أن ظاهرة الإنسكاب (Over topping) تمثل السبب الأعم لإنهيار السدود الردمية إذ تمثل ٣٥ % تقريبا من مجمل الإنهيارات تليها الإنهيارات بسبب نخربة التربة (Piping) إذ تمثل ٣٠ % من مجمل الإنهيارات وقد يرتبط ذلك بوجود مناطق سيئة الإنشاء كمناطق التلامس بين الردم والأكتاف أو بسبب تشققات ناشئة من إجهادات الشد التى فرضتها أعمال الردم أثناء العمل. وتشير الإحصاءات أيضا إلى أن إنهيار السدود الردمية قد يحدث نتيجة التسرب أثناء أو عقب الإنشاء أو نتيجة لسحب المياه السريع من الخزان أو أثناء ملء الخزان عند بدء التشغيل.

٦-٢-٣ إعتبارات عامة فى التصميم

٦-٢-٣-١ الإرتفاع الحر (الهامش العلوى) Freeboard

- يقصد بالإرتفاع الحر (الهامش العلوى) البعد الرأسى بين قمة السد وأقصى منسوب لمياه الخزان فى الأمام وهو المنسوب المقرر فى تصميم المفيض.
- يراعى أن يكون الهامش كافيا ليمنع الإنسكاب من فوق السد Overtopping وذلك فى حالة هبوب العواصف أو نتيجة لحركة الأمواج أو آثار الزلازل. كما يجب أن يسمح الهامش بالوفاء بهذه الأغراض لدى هبوط السد بعد إنشائه وإندماج الردم أو الأساس.
- فى مناطق الزلازل يحدد منسوب قمة السد بإحدى طريقتين :

أ- أقصى منسوب لسطح مياه الخزان بالإضافة إلى هامش تحدده خبرة الأخصائيين.
ب- أقصى منسوب لسطح مياه الخزان بالإضافة إلى ٣ % من إرتفاع السد محسوبا فوق قاع المجرى.

٦-٢-٣-٢ عرض قمة السد

يراعى أن لا يقل عرض قمة السد عن ١٠ متر وبحيث يكون مناسبا لحركة المرور فوقه.

٦-٢-٣-٣ التخطيط Alignment

- يراعى تجنب الإنحناءات الحادة خاصة فى جهة الأمام فى محور أو محاور السد إذا كانت تلك المحاور طويلة بالنسبة لإرتفاعات السد ويرى أن تتمشى مع طبيعة الأساس وطبوغرافية بقصد أن يكون التخطيط إقتصاديا.
- أما محاور السدود المرتفعة فى الوديان الضيقة ذات الجوانب القائمة. فيلزم أن تكون مقوسة بالأمام حتى تحد من فعل المياه ليتم ضغط المناطق غير المنفذة طوليا مما يزيد الحماية ضد نشوء تشققات مستعرضة. وعادة ما يتراوح نصف قطر القوس الأمامى للسد فى مثل تلك الوديان بين ٣٠٠ - ١٠٠٠ م.

٦-٢-٣-٤ الأكتاف Abutments

- من المفضل تأجيل إنشاء العشرة أمتار العليا من جسم السد وعلى الأخص المتاخمة منها للأكتاف القائمة حتى يصل هبوط السد وأساسه إلى نهايته.
- بسبب إحتمال حدوث هبوط نسبى كبير قرب الأكتاف مما قد يؤدى إلى حدوث شقوق مستعرضة فى جسم السد فمن الأفضل مراعاة إستعمال حطات من الردم ذات محتوى مائى كبير.

٦-٢-٣-٥ مراحل التنفيذ Stages of Construction

- يقتصر إستعمال هذا المصطلح على إنشاء السد فى زمن معين مع فترات توقف قد تقتضيها مراحل العمل حيث تعطل فيها حطات الردم أو تقل.
- فى حالة ضعف الأساس القابل للإنضغاط أو فى حالة الردم غير المنفذ فوق جانب رطب ذى محتوى مائى معقول ، فقد يكون من الأنسب تخفيض معدل رمى الحطات أو وقفها لفترات وذلك للسماح لضغوط المياه المسامية فى الأساس أو فى الردم أن تتبدد.

٦-٢-٣-٦ منطقة الغلاقة Closure Section

- نظرا لأن مناطق الغلاقة فى السدود الترابية هى فى العادة قصيرة طولا ومتدرجة فهناك موضوعان متلازمان عند إنشائها يجب مراعاتهما : الأول النمو الزائد فى الضغوط المسامية المائية فى الأساس أو جسم السد والثانى إحتمال نمو التشققات العرضية عند موضع إتصال منطقة الغلاقة مع ما قد تم إنشاؤه من السد وذلك بسبب الهبوط النسبى.
- يمكن تقليل الضغوط المسامية المائية فى السد بتزويد طبقات صرف مائلة متاخمة للنواة الصماء أو إستعمال ميول مفلطحة.
- يمكن تقليل التشققات بسبب الهبوط النسبى بأن تكون الميول الطرفية لقطاعات السد بحيث لا تقل عن ١ : ٤ كما يقتضى أن تشيد بمواد جيدة الدمك لم تتأثر بفعل البلل أو الجفاف أو الصقيع ومن الأفضل أن تكون مادة النواة ذات محتوى مائى أكبر من أى موضع للتأكد من أن تكون لدنة وإمكان ضبطها بلا تشققات.
- يلزم وضع بيزومترات طرفها فى الأساس وفى جسم السد يتم من خلالها مراقبة الضغوط المائية المسامية. أما القنوات فلا يجب أن تقام فى قطاعات الغلاقة أو بالقرب منها.

٦-٢-٣-٧ الوقاية من تأثير الزلازل

فى مناطق الزلازل يجب مراعاة النقاط التالية وخاصة فى مواقع السدود العالية :
١- التأكد من أن رمال الأساس ذات كثافة عالية (كثافة نسبية تعادل ٧٠ % على الأقل).
٢- أن تكون المنطقة غير المنفذة أكثر لدونة.
٣- توسيع المنطقة غير المنفذة.
٤- تعريض قمة السد.
٥- تسطيح ميول السد.
٦- زيادة المسافة الهامشية (الإرتفاع الحر).
٧- زيادة إتساع المرشح (Filter) والمناطق الإنتقالية المتاخمة للنواة.
٨- دمك قطاعات الجوانب لتعطى أقصى كثافة.
٩- فلطحة ميول السد عند إتصالها بالأكتاف.

وتحتاج مواقع السدود فوق الفوالق بمناطق الزلازل إلى دراسات خاصة جيولوجية وسيزمولوجية كما أن المفيضات وفتحات التصريف لا يجب أن تقام فى جسم السد.

٦-٢-٣-٨ تشققات السد الترابى Embankment Cracking

إن التشققات فى السدود الترابية أو الركامية أمور غير مرغوب فيها وإحتمالات التشقق فى الجسور الجيدة الدمك قائمة لإن الدمك وحده غير كاف ليلغى هذه الإحتمالات.

وهناك عدة أنواع من تلك التشققات مثل :

أ- الشقوق الرأسية المستعرضة Transverse Cracking

هذه الشقوق فى النواة والمناطق غير المنفذة وفى سطوحها تعتبر علامة لها خطورتها فهى نتيجة لنمو مناطق الشد التى تسببت عن دمج نسبى للأساس أو هبوط نسبى للسد.

وفى حالة حدوث هبوط نسبى فى مسافة صغيرة أفقية أى عندما يكون نصف قطر الإنحناء صغيرا فإن الميل إلى نمو مناطق الشد يصير أكبر ما يمكن. وإذا جنح الهبوط النسبى إلى نمو إجهادات الشد فى الجزء السفلى من جسم السد ، فإن التأثير قد يصبح غير هام نسبيا لأن قوى الضغط الرأسية فى هذه المنطقة تكون كبيرة. وبالعكس إذا إتجهت مناطق الشد للنمو فى الجزء العلوى من السد فنظرا لأن قوى الضغط الرأسية فوقها قليلة فإن إحتمال نمو مناطق الشد بها تحتاج إلى دراسة وعلاج.

ب- الشقوق الطولية Longitudinal Cracking

رغم أن التشققات الطولية قد تحدث من الهبوط النسبى عند الإندماج فمن الأسباب الأكثر إحتمالا :
١- هبوط القشرة (الغطاء) بالأمام التى سبق إقامتها نتيجة للتشبع وبالذات عند بدء ملء الخزان.
٢- هبوط القشرة الأمامية نتيجة للسحب.
٣- هبوط النواة.

ج- الشقوق الأفقية Horizontal Cracking

قد يكون سبب هذه التشققات فى النواة هو هبوطها مصاحبة بميل نحو القشرة ذات الإندماج القليل وحيث تكون تربة الأساس قابلة للهبوط عند تشبعها مما يجعل التحدب والتقوس ينموان مما قد يؤدى إلى تكوين فجوات بين السد والأساس أو عند النواة.

ويمكن تقليل التشققات عن طريق دمك الطبقات المنفذة لتقليل الهبوط الناتج عن التشبع ودمك مواد النواة مع وجود محتوى مـائى عـال يكفـى لأن يصبح سلوك الجهد الإنفعالى لدنا نسبيا أى يكون معامل التشوه منخفضا وقوى الشد لا تستطيع أن تبقى الشقوق مفتوحة.

٦-٢-٤ البحوث الحقلية والإختبارات المعملية

٦-٢-٤-١ عموميات

- يجب أن تكون المباحث الجيولوجية وما تحت سطح الأرض فى موقع المنشأ وفى مواقع المتارب المختارة كافية لكى تحدد مدى ملاءمة مواد الأساس والأكتاف ، المعالجة المطلوبة للأساسات ، ميول الحفر، خصـائص المـواد المتاحة وكمياتها التى يمكن الإنتفاع بها فى أغراض الإنشاء. وهذه البيانات غالبا تحكم إختيار الموقع ونوع السد وإمكانية تنفيذه.
- إن معرفة جيولوجية المنطقة والموقع أمور ضرورية لتخطيط إستقصاء ما تحت سطح الأرض ومعرفة مصادر المشكلات المحتملة.
- قبل بدء الدراسات التفصيلية لقطاعات السد يلزم إجراء بحوث شاملة لمناطق المتارب والحفر حتى يتيسر تحديد كميات الردم (أتربة وصخور) اللازمة لإقامة السد.
- تشمل الخواص الطبيعية للصخور ميول مراقدها والفجوات فى طبقاتها والتشققات والفواصل وعروق الطمى ومناطق الصدوع والفوالق فضلا عن إستكشاف طبقات "الطفل الصفائحى Shale" لأنه قابل للإنضغاط وغالبا ما يفقد قوته تحت وطأة الحمل أو التفتت نتيجة العوامل الجوية الأمر الذى يلزم معه أخذ الحيطة من وجود مثل هذه الطبقات.
- تعتبر البحوث الحقلية الشاملة وإختبارات المعمل لازمة عندما تتكون تربة الأساسات من أى من الطبقات التالية :
  - الأساسات الرملية التى قد تسيل من جراء هزات الزلازل ، تربة عضوية ، تربة قابلة للتمدد، تربة قابلة للتهدم ذات حبيبات رفيعة ضعيفة التماسك ولها كثافة منخفضة قابلة للإنضغاط عند تحميلها ، طفل صفائحى ، تربة أو صخور جبسية ، فجوات تحت أرضية مناجم مهجورة ، رقائق طينية أو مناطق قص أو رقائق من الميلونيت داخل تكوينات الصخر.

٦-٢-٤-٢ الأساسات

- منطقة الأساسات هى أرضية الوادى والمصاطب (المساطيح) Terraces التى يرتكز عليها السد والإنشاءات الملحقة به. والبحوث فيما تحت سطح الأرض فى هذه المنطقة يلزم أن تشتمل ما يلى:

أ- بروفيلات ما تحت سطح الأرض ويلزم أن توضح مواد التربة والتكوينات الجيولوجية التى تتضمن وجود الطبقات أو المناطق الضعيفة كما يجب أن تبين مواقع فواقد النواة أو الإسقاطات العضوية.

ب-نوعيات وخواص التربة وأنواع الصخور الضعيفة.

ج-مواقع مستوى المياه السطحية وشواهد الضغوط الإرتوازية فى الصخور والتربة.

- إستكشاف مداخل الأكتاف (السنادات) وحفر خنادق الإختبارات وأقماع الثقوب الكبيرة والتثقيب ذى الأقطار الكبيرة فى النواة لازم لكى تكون بحوث صفات الأساسات والأكتاف مأمونة ومن المفيد إستخدام التصوير فى الأخرام والتصوير التليفزيونى.
- إختبارات الضخ فى الأساسات المنفذة ضرورية لتحديد نفاذية الأساسات عندما تكون قواطع الرشح غير معدة أو عندما يكون الأمر محتاجا إلى سحب المياه من الأساس العميق.

٦-٢-٤-٣ الأكتاف أو السنادات

تشمل أكتاف السد (أو سناداته) الجزء من جوانب الوادى حيث يتصل به طرفا السد وكذلك الأجزاء فيما وراء السد التى قد تكون سببا فى مشاكل الرشح أو إتزان السد والأكتاف تحتاج بالضرورة إلى نفس البحوث والدراسات التى تجرى على مناطق الأساسات.

كذلك يجب دراسة المناطق حول الأكتاف وجدران الوادى الواقعة أمام وخلف السد مباشرة لإحتمال وجود مناطق تسرب للمياه تحت الأرض أو لإحتمال وجود ميول قائمة قد يسبب إنهيارها خطرا على مداخل الأنفاق أو مخارج المجارى المائية.

٦-٢-٤-٤ مواقع المفيض ومخارج المجارى المائية

هذه المناطق تحتاج إلى دراسة شاملة لتخطيط إتجاهاتها وتحديد نوعية الصخور أو طبقات الأساس الثابتة ولذا فإن البحوث يجب أن تعطى بيانات كافية عن الأحمال وعن الصخور تسمح بدراسة إتزان ميول الحفر وتحديد أفضل إستخدامات مواد الحفر للسد.

٦-٢-٤-٥ بحوث الخزان

أ- لكى تتحدد إمكانية إستيعاب الخزان للمياه مع بقاء الميول الجانبية فى حالة إتزان فإنه من الضرورى دراسة جوانب وقاع الخزان عند إمتلائه وعندما يتعرض لهزات زلزالية.

ب- لابد من التحليل التفصيلى لإحتمال حدوث إنزلاق فى المنطقة حيث أن الموجات العالية والإنسكاب يمكن أن تنجم عن إنزلاقات فى جوانب الخزان.

ج- يلزم دراسة مستوى المياه الأرضية بجوانب الخزان والمناطق المحيطة به.

د- يجب دراسة مناطق الأحجار الجيرية والفجوات الموجودة بها فى المنطقة المحيطة بجدران الخزان مع تحديد ما إذا كانت مياه الخزان يمكن أن تفقد من خلالها بالتسرب.

٦-٢-٤-٦ المتارب ومناطق الحفر

تعود ضرورة دراسة المتارب ومناطق حفر الأتربة المطلوبة إلى ما يلى :

أ- التحقق من كفاية المواد اللازمة لردم السد وعمق الحفر ومداه وكذا التأكد من أن مواد المتارب كافية للإرتفاع بالسد إلى قمته.

ب- أخذ عينات لتحديد النفاذية وخصائص الإنضغاط وقوة القص للعينة المنضغطة وخواص تغير حجمها ومحتواها المائى ولمعرفة الوزن النوعى الطبيعى.

٦-٢-٤-٧ إختبارات أتربة الردم

تشمل عوامل تصميم السدود الترابية والركامية إستخدام نتائج إختبارات أتربة الردم فى الإجابة عن الأسئلة التالية :

١- أكثر أجهزة الدمك تأثيرا فى سمك الحطة وعدد الحطات Lift والمحتوى المائى للرفعة.

٢- أكبر حجم للحبيبات المسموح بها.

٣- مدى النحر Degradation أو العزل Segregation أثناء عمليات المناولة والدمك.

٤- الخواص الفيزيائية مثل كثافة الإنضغاط والنفاذية والتوزيع الحجمى للحبيبات وقوى القص لمواد السد المقترحة.

ويجب أن تحفظ العينات Representative samples من الأساس والأكتاف وحفر المفيض والمتارب المأخوذة ويتم تخزينها فى حالة مناسبة (على الأقل حتى نهاية التنفيذ وحتى تسوى جميع المطالبات). وجميع العينات يجب أن تكون موجودة لإحتمال إجراء أية إختبارت أو تفتيش تتطلبها مشاكل غير مرتقبة. ولما كانت إختبارات القص مكلفة وتحتاج إلى وقت طويل لإتمامها فإن برامج الإختبارات المعملية تكون عموما محدودة لمواد تمثل الأساس والمتارب وتجرى الإختبارات ثلاثية المحاور Triaxial tests على عينات تضغط إلى نفس كثافتها فى الطبيعة.

٦-٢-٥ الأساسات والأكتاف (السنادات)

٦-٢-٥-١ التحكم فى التسرب

يمكن التحكم فى التسرب من خلال الأساسات والأكتاف (السنادات) عن طريق القواطع بأنواعها والستارة الأمامية غير المنفذة أو عن طريق طبقات صرف خلفية وفى الأكتاف بالذات عن طريق دهاليز صرف Galleries.

أ- القواطع

خنادق ردم مضغوطة

- يمكن أن يتم عمل قاطع تسرب بحفر خندق أسفل الطبقة غير المنفذة للجسر فى طبقة الأساس المنفذة ولضمان فاعلية قاطع الصرف يلزم أن يكون عرض قاعة مساويا على الأقل لربع أقصى الفرق بين منسوب المياه بالخزان ومنسوب المياه بالخلف على أن لا يقل عن سبعة أمتار ويكون أوسع من ذلك إذا كانت مادة الأساس أسفل القاطع هامشية Marginal بالنسبة للنفاذية.

- إذا كان تدرج الردم غير المنفذ لا يعطى لمادة الأساس المنفذة حماية ضد النخاريب فيلزم وضع طبقة مرشح إعتراضية بين الردم غير المنفذ ومواد الأساس وذلك فى الجانب الخلفى.

- يجب أن يوضع الردم غير المنفذ ويضغط على الناشف لذلك يلزم سحب المياه بإستخدام الآبار الأبرية Well points أو الآبار العميقة خلال الحفر وعمليات الردم متى كانت تحت منسوب المياه الأرضية.

خنادق الروبة

- يمكن للقواطع أن تتم عن طريق خنادق الروبة فى الأساسات المنفذة لأعماق تصل إلى نحو ٢٥ مترا. فحفر الخنادق فى الأساسات المنفذة يتم بالكراكات الحفارة أو العزاقات أو الكراكات الكباشة أو بحفارات الخنادق وذلك لحفر خنادق إتساعها نحو ١,٥ إلى ٣,٥ متر.

- ولمنع تكهفات جدران الخندق يملأ الحفر بروبة البنتونايت Bentonite ويعاد ردم الخندق بإزاحة الروبة ثم ملئها بمواد تحتوى موادا ناعمة لتصبح شبه غير منفذة. على أن إضافة بعض الحبيبات الخشنة قد تساعد على تقليل هبوط الخندق إلى أقل ما يمكن. ومثل هذا الخندق يلزم أن يكون أمام السد مع مراعاة أثره على إتزان جسم السد إلا أن هذا النوع من القواطع غير مرغوب فيه متى وقع الجزء السفلى للخندق فى منطقة زلطية أو ركامية أو ذات ميول غير ظاهرة أو صخور مشققة.

- ويلاحظ أنه قد تحدث بعض تكهفات فى حوائط الخندق الأمر الذى يحتمل معه تسريب الرشح خلال تلك التكهفات التى لم يحكم إغلاقها. بالإضافة إلى أن هناك إحتمال أن يكون الردم غير المنفذ الذى أعيد به ردم خندق الروبة لم يتداخل تماما فى الطبقة العليا غير المنفذة فى قاعدة الخندق.

- فإذا كان خندق الروبة قد أعتمد عليه فى التحكم فى التسرب فيلزم مراقبة عملية البدء فى ملء الخزان وقراءة البيزومترات للتأكد من أن خندق الروبة يؤدى وظيفته كما ينبغى. فإذا كان القاطع لا تأثير له فإنه من الأصوب إقامة نظام للصرف فى الجهة الخلفية قبل إرتفاع منسوب المياه بالخزان.

القواطع الخرسانية فى الخندق

هناك عديد من الطرق لإنشاء حائط قاطع Cut off wall بالموقع. يتراوح سمك هذه الحوائط عادة بين ٠,٧٥ ، ١,٠٠ متر وتقام فى خندق محفور متماسك بالطين. ومثل هذه الحوائط الرفيعة عرضة للتشقق وذلك حسب خواص الأساس كما أن أسطح جدرانها معرضه للإحتكاك بتأثير قوى الشد إلى أسفل من تربة الأساس المدموكة.

قواطع الستائر اللوحية

أصبح إستعمال الستائر اللوحية كقواطع تحت السدود الترابية أو الركامية غير مفضل واقتصر إستعمالها فى الوقت الحاضر على الجسور الواطئة أو المؤقتة ذلك لأن هذه القواطع ليست كتيمة Watertight بدرجة تامة.

الحقن

- يستخدم الحقن فى الأساسات الترابية أو الركامية (وتتضمن الأكتاف) لتقليل فواقد التسرب وتقييد الضغوط إلى أعلى تحت قطاعات السد الخلفية ويحدث التسرب فى الأساسات الصخرية خلال الأكتاف من بين الشقوق والفواصل ويتوقف تأثير الحقن على طبيعة الفواصل مثل سعة الشق والمسافات بينها وكذا على مخلوط الحقن وأجهزته وعملية الحقن نفسها.

- تقام ستارة الحقن أسفل الطبقة غير المنفذة للسدود الترابية والركامية عن طريق ثقوب وحقنها بمخلوط الحقن المناسب للغرض وستارة الحقن التى تحتوى على صف واحد من الخروم ليس من المستطاع الإعتماد عليها لتكون حاجزا للرشح ولذا يلزم إستخدام أكثر من صف من خروم الحقن (على الأقل ثلاث صفوف فى الصخر وخمسة صفوف فى التربة العادية). وستارة الحقن فى التربة قد تحتاج إلى توليفة من الأسمنت والرمل الناعم فى الصفوف الخارجية. وبدراسة صفات الأساس مع الجيولوجى فإنه يمكن تحديد موضع ستارة الحقن وأعماق خروم الحقن ونظام عمليات الحقن. ويمكن تعديل تفاصيل برنامج الحقن وضبطه حسبما يتضح من بيانات الخروم الجيولوجية ونتائج الحقن.

- إن دراسة إحتياجات الحقن ضرورية للأساسات والأكتاف (السنادات) وخاصة عندما تعترضها الفوالق وبالذات عندما تكون مناطق القص فى الفالق محتوية على هشيم أو كسر صخور. ولذا فمن المفضل قفل تلك المنطقة Seal بالحقن. وعندما يعترض الفالق محور السد يكون من الأوفق الحفر حول الفالق وصب غطاء Cap من الخرسانة على شكل وتد - دسرة - Wedge تسير فيه مواسير الحقن حتى يمكن حقن منطقة الفالق بعمق بين قدمتى السد الأمامية والخلفية على أن يقطع إتجاه خروم الحقن الفواصل والعيوب الأخرى.

- كثير من تكوينات الأحجار الجيرية تحتوى على فجوات وتكهفات Cavities وعلى ذلك فإذا كان هناك شك فى وجود مثل هذه التكهفات فى الأساس أو الأكتاف فإن صفا أو أكثر من الخروم ذات مسافات متقاربة تكون حلا مناسبا للتخلص من النخاريب التى قد تحدث أو يمكن أن تتهدم وتمتلئ بمواد السد مما ينجم عنه نمو الفراغات فى السد.

- لما كانت عملية الحقن - كما تقدم - هى من المسائل المعقدة فمن الواجب أن تكون هذه العملية تحت الإشراف الدقيق للمهندسين والجيولوجيين ذوى الخبرة العالية فى هذا المجال.

ب- الستارة الأمامية الكتيمة

لتقليل كميات التسرب والضغوط إلى أعلى فى الخلف فإن ستارة كتيمة بالأمام تغطى الأساس المنفذ وترتبط بالمنطقة غير المنفذة سيكون لها أثرها الإيجابى. كما تستعمل مثل هذه الستائر فى الميول الأمامية للأكتاف لأنها تعطى غالبا توليفة جيدة مع دهاليز الصرف وآبار التخفيف. هذا وتتوقف أثر تلك الستائر بالأمام على طولها وسمكها ونفاذيتها الرأسية وتصنيف طبقات التربة ونفاذيتها.

ج- طبقات الصرف

يقصد بهذه الطبقات طبقات بين الأساس والجزء الخلفى من جسم السد والتى تخدم وظيفتى إحتياجات السد للتحكم فى التسرب وكذا الطبقات العليا من الأساس فى كل من الوادى والأكتاف (السنادات).

د- آبار تخفيف الضغط Relief Wells

- لما كان معظم الأساسات ذات طبيعة رسوبية وتتكون من طبقات متتابعة فإن النفاذية فى الإتجاه الأفقى تكون فى العادة أكبر بكثير من النفاذية فى الإتجاه الرأسى ومن هنا فإن طبقات الصرف عند سطح الأساس تحت جسم السد قد لا تكون فعالة فى تخفيض الضغوط إلى أعلى عند طبقات الأساس السفلى. وتكون الوسيلة الفعالة لتخفيض هذه الضغوط هى قطع خطوط سريان المياه إما بدق آبار تخفيف بالخلف أو بعمل خنادق للقدمة مع عمل ستائر لها تخترق طبقات الأساس المنفذة. ولذلك فإنه من الأفضل عمل هذه الآبار أثناء عمليات الإنشاء تضاف إليها آبار أخرى أثناء ملء الخزان إذا ما لوحظ أن الضغوط إلى أعلى تحتاج إلى آبار إضافية. ومن الأفضل دق بيزومترات أثناء الإنشاء ثم عمل آبار تخفيف إذا أشارت قراءات البيزومترات إلى ضرورة إضافتها أثناء عملية ملء الخزان.

- ويلزم أن يسهل الوصول إلى أعلى الآبار حتى يمكن القيام بنظافتها من خلال نظام مواسير مجمعه لتصب مياهها خارج السد بعيدة عن مصارف القدمة أو الصرف السطحى. وتحتاج آبار التخفيف إلى صيانة دورية لضمان تأثيرها المتصل. ويذكر أن أثر هذه الآبار يقل بمرور الزمن ولذا فإنه من الواجب تركيب عدد من تلك الآبار أكثر مما هو مصمم لها.

هـ- مرشحات القدمة

من غير المستطاع الإعتماد على آبار التخفيف لقطع خطوط التسرب فى المستويات العليا للأساس المنفذ الممتد إلى سطح الأرض ولذا فمن الضرورى عمل خندق صرف للقدمة تصب مياهه فى مواسير مجمعة مستقلة. وحتى إذا كانت هناك ستارة صرف أفقية ممتدة لقدمة صخرية فمن المحتمل أن يترسب على القدمة الطمى مما يتسبب عنه إعاقة الصرف وبالتالى تصبح منطقة الأساس فى الخلف مشبعة بالمياه ومن ثم تكون رخوة بينما خندق القدمة يمنع ذلك ويلاحظ أن خندق القدمة مع المواسير المجمعة يشكل طريقة لقياس كميات الرشح.

و- دهاليز الصرف والأنفاق

دهاليز الصرف أو الأنفاق تستعمل عادة فى الأكتاف. ودهاليز أو ممرات الصرف على طول إمتداد محور السد أو فى الأكتاف فى منطقة الخلف تستخدم فى تجميع الرشح من الأكتاف وكذا فى بيان ما إذا كان هناك حاجة إلى الحد من أو ضبط التسرب. ويمكن أن تدق آبار الصرف بالقرب من تلك الأنفاق لتقطيع خطوط التسرب بفاعلية أكثر.

ويراعى أن تكون أنفاق الصرف متسعة لتكفى الحقن مستقبلا إذا إحتاج الأمر له. غير أنه من المفضل فى الأكتاف أن تكون كل من دهاليز التسرب والحقن مستقلة عن بعضها البعض.

٦-٢-٥-٢ تجهيزات الأساسات والأكتاف

أ- الأساسات الترابية Earth Foundation

- يبنى تصميم السدود التى ترتكز على الأرض على مقدار مقاومة قوى القص فى تربة موقع الأساس. وفى حالة الأساسات الضعيفة فإن إستعمال الإنشاء المرحلى أو تقوية الأساس أو حفر المواد غير المرغوب فيها يكون أكثر إقتصادا عن إستخدام الميول المفلطحة أو مساطيح الإتزان.

- وعادة يشمل تجهيز الأساس العناصر التالية :
- النبش والعزيق لإزالة جذور الأشجار والجذور الكبرى وخاصة فى المتر العلوى.
- نزع وإزالة النباتات من الطبقة العليا للتربة وكذا الزلط والمواد العضوية وحشوات النفايات وكل المواد غير المرغوب فيها. كذلك التربة الإنضغاطية التى تتواجد فى شكل طبقات رفيعة أو فى بؤر منعزلة فهذه يجب إزالتها أيضا.

- بعد عمليات النزع والإزالة فإن سطح الأساس سيكون فى حالة سائبة ويتوجب ضغطه. فإذا كان الأساس طينيا أو سلتيا وبه محتوى مائى كبير أو مشبعا بدرجة عالية فيجب محاولة ضغطة بهراسات أقدام الغنم Sheepsfoot أو هراسات ذات إطارات مطاطية. أما فى حالة إستخدام حركة مرور الهراسات الثقيلة أو أى معدات أخرى للإنشاء فوق سطح الأساس وبدون تقليب التربة فهذا يكون كافيا لإظهار مواقع المواد القابلة للإنضغاط والتى يحتمل أن تكون قد تركت سهوا أثناء عملية نزع وإزالة النباتات كجيوب المواد الضعيفة والتى قد تكون مطمورة تحت غطاء ضحل. كذلك الفجوات الناجمة عن إقتلاع جذور الأشجار فهذه يجب ملؤها وضغطها بدقاقات آلية.

- وللسدود المقامة على أساس فوق الأرض غير المنفذة والتى لا تحتاج إلى قواطع فإنه من اللازم عمل خندق إستكشافى بعمق لا يقل عن ٢,٠٠ مترا وذلك ليسمح بإستكشاف مواسير مهجورة أو تكهفات من مواد ضعيفة أو مناطق من المصارف المغطاة أو مناطق منفذة أو أشياء أخرى غير مرغوب فيها ولم تظهر أثناء الإستكشاف الأول.

ب- الأساسات الصخرية

- يراعى تنظيف الأساسات الصخرية من الردش السائب والذى يتضمن الرايش بسطح بلوكات الصخر والتى تمتد عبر الشقوق والفجوات المفتوحة كما يلزم إزالة النتوءات الصخرية لتسهيل حركة معدات الدمك وتجنب الهبوط النسبى. أما الشقوق والفوالق والفجوات تحت النواة وأى مكان آخر محتمل فيلزم أن تملأ بالمونة أو بالخرسانة الضعيفة وذلك حسب إتساع الفجوة. ويلاحظ عند علاج عيوب الصخر ضرورة ألا ينجم عنه طبقات من بقايا مونة الحقن أو الجونيت Gunite والتى قد تغطى أسطح الصخر الجيد لأنها قد تتشقق تحت ضغط حطات الردم أو عمليات الدمك.

- وحفر خنادق الإستكشاف الضحلة أو خنادق النواة عن طريق النسف قد يؤدى إلى تلف الصخر. فإن تطلب الأمر هذا فلا داعى لعمل خنادق إستكشاف ما لم يكن من الممكن حفر هذه الخنادق بدون نسف. وإذا كانت خنادق النواة قد كشفت عن وجود تكهفات أو شقوق كبيرة أو فوالق فيلزم عندئذ ردم خندق النواة بالخرسانة لمنع إحتمال نحر مواد النواة عن طريق مياه التسرب من خلال الفوالق أو التكهفات الآخرى بالصخر.

- عندما يقام الجسر الترابى على أساس صخرى ذى فواصل أو فوالق فمن الضرورى منع السماح لردم السد ليملأ هذه الفواصل أو أى فتحات أخرى فى الصخر السليم وعلاج الصخر المعيب كما تقدم.

- وقد تحتوى الأساسات من الأحجار الجيرية على فجوات وتحتاج إلى استكشافات كثيرة ومراقبة خاصة عند عمل الخروم. وكذا تحتاج إلى دراسة دقيقة للصور الجوية مع زيارة لسطح تلك الأحجار لتقرير ما إذا كان هناك فجوات سطحية من عدمه. على أن غياب هذه الفجوات السطحية لا يكون برهانا لعدم وجود فجوات داخلية. وإذن فمن الضرورى إزالة التربة أو الصخور المتفتتة التى تستند إلى فوالق أو فواصل فى الصخر تحت كل من القشرة التى بالأمام وبالخلف لتعريتها وكشف الفوالق والتكهفات وعلاجها على أساس ما تنتهى إليها دراستها التفصيلية.

- ومتى وجدت الفوالق أو الفواصل المتسعة فى أساس السد فمن الضرورى أن تحفر ويعاد ردمها بخرسانة ضعيفة على أن يكون الحفر بأعماق لا تقل عن مرتين أو ثلاث مرات قدر عرضها وهذا سيعطى جسرا إنشائيا فوق الفوالق أو لمواد ملء الفواصل وسيمنع رديم السد من أن يفقد داخل الفواصل أو الفوالق.

ج- علاج الأكتاف (السنادات)

- لعل الخطر الرئيسى للأكتاف الصخرية يكمن فى عدم إنتظام نظافة الأسطح والشقوق والشروخ فى الصخر. فنظافة منطقة الأكتاف يلزم أن تشمل الأسطح تحت السد مع العناية التامة بالمناطق التى تلامس النواة والمرشحات إذ حول هذه المناطق يلزم إزالة كل ما هو شاذ فيها وتشذيبها لتشكل ميولا منتظمة لكل الكتف. فجميع النتوءات يلزم إزالتها وملء ما تحتها بالخرسانة المقذوفة Shotcrete .

- ويلزم تجنب الأسطح الرأسية للصخر تحت السد ما أمكن وإذا سمح بها فيجب أن لا تكون أعلى من ١,٥ متر.

- والأكتاف المسطحة نسبيا مفضلة لتجنب مناطق الشد المحتملة والتشققات التى تحصل فى السد غير أن هذا لا يكون حلا إقتصاديا إذا كانت ميول الأكتاف حادة. ومع هذا ففى بعض الحالات قد يكون حلا إقتصاديا إذا أمكن فلطحة الكتف الصخرى الرأسى بمعنى أن يكون الميل ٢ رأسى : ١ أفقى أو ١ : ١ وبذا يقل إحتمال حدوث تشققات.

٦-٢-٦ جسم السد

٦-٢-٦-١ مواد الردم

- معظم مواد التربة يمكن إستخدامها لردم السد طالما كانت غير عضوية وغير قابلة للذوبان ويجب تجنب إستعمال المواد (تراب الصخر ، الطمى) التى يزيد حد السيولة لها عن ٨٠ %.

- من غير المناسب إستعمال أنواع التربة بطيئة الجفاف خاصة فى المناطق ذات المناخ المطير خلال فترات الإنشاء.
- ينجم عن إستعمال التربة ذات الحبيبات الدقيقة ذات المحتوى المائى العالى إرتفاع فى ضغوط المياه المسامية فى جسم السد تحت تأثير ثقله.
- يفضل إستعمال التربة ذات التدرج الحبيبى الجيد عن التربة منتظمة الحبيبات لأنها أكثر قوة وأقل عرضة للنحر والإماهة وأكثر مقاومة للإنضغاط.
- لا يجب إستعمال الطمى كردم مجاور للخرسانة أو مبانى المنشآت إلا فى المناطق غير المنفذة فى جسم السد.

٦-٢-٦-٢ تقسيم جسم السد إلى مناطق

- يلزم تقسيم جسم السد إلى مناطق لإمكان إستعمال أكبر كم من المتارب بأقل الفواقد وعادة ما يتضمن التقسيم المناطق التالية :
  - أ- منطقة غير منفذة.
  - ب- مناطق إنتقالية بين النواة والقشرة.
  - ج- مناطق التحكم فى التسرب.
  - د- مناطق الإتزان.

- فى أنماط السدود الترابية العادية تتاخم النواة الوسطى غير المنفذة أغلفة أكثر نفاذية لكى تسند النواة فالغلاف الأمامى يضمن الإتزان حتى نهاية العمل وكذلك عند السحب السريع لمياه الخزان وعند حدوث هزات زلزالية أما الغلاف الخلفى فيضطلع بعمل مصرف يتحكم فى خطوط التسرب ويعطى إتزانا فى حالة المناسيب العالية وعند حدوث هزات زلزالية أيضا - شكل (٦-٢).

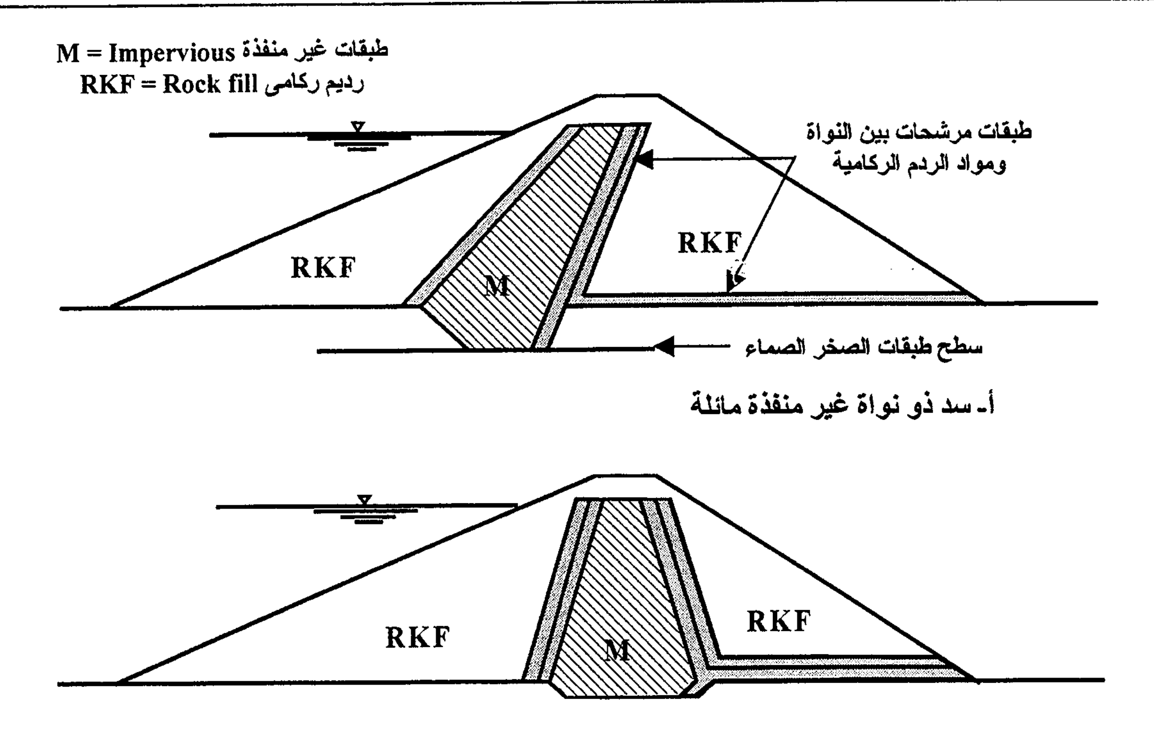
- يراعى أن يكون عرض قاعدة النواة وخندق القاطع مساويا أو أكبر من ربع أقصى فرق بين منسوب مياه الخزان ومنسوب الخلف ويجب ألا يقل عرض قمة النواة عن ثلاثة أمتار حتى يمكن لمعدات نقل الردم ومعدات الدمك أن تقوم بعملها.

٦-٢-٦-٣ التحكم فى التسرب

- ينبغى التحكم فى التسرب حفاظا على مياه الخزان وبحيث لا تسبب قوى التسرب خطرا على توازن الميل الخلفى للسد أو تسبب تحركات داخلية لحبيبات التربة. وقد يتيح إستخدام مواد غير منفذة كنواة فى جسم السد إقلال فواقد التسرب خلال جسم السد عن كمية التسرب المارة تحت السد أو من حوله.

- إن تقسيم السد إلى مناطق مع وضع المواد المنفذة فى الطبقات الخارجية يمثل الطريقة المثلى للتحكم فى التسرب. وتوضع طبقات المرشح فى جسم السد أو بين السد وأساسه لمنع تحرك حبيبات التربة قليلة التماسك كما توضع طبقات صرف أفقية أو مائلة فى الجهة الخلفية من السد.

- يمكن إجراء تعديلات مختلفة على قطاعات السدود ذات الأنوية الوسطى غير المنفذة فبمد النواة الوسطى على هيئة ستارة من جهة الأمام يمكن زيادة مسار التسرب.



شكل (٦-٢) أمثلة لسدود ركامية ذات نواة غير منفذة

٦-٢-٦-٤ الدمج والهبوط

- من الضرورى أن يؤخذ هبوط الأساسات فى الإعتبار عند إختيار موقع السد إذ يلزم أن يكون هذا الهبوط أقل ما يمكن ويلزم أن يزيد إرتفاع جسم السد والنواة عن الإرتفاع التصميمى لضمان وجود هامش كاف يعتمد عليه. وإذا تصادف وجود طبقات أساس قابلة للإنضغاط فلابد من إجراء إختبارات دمج Consolidation على عينات غير مقلقلة للحصول على معلومات تؤدى لتقدير الهبوط المتوقع.

- تتأثر قوى القص فى التربة بخصائص دمجها فلو كان الأساس يندمج ببطء بالنسبة إلى سرعة الإنشاء فإن جزءا أساسيا من الحمل المباشر سوف تحمله المياه المسامية.

- إذا كانت مقاومة القص المتاحة ضعيفة فإنه ينبغى فلطحة الميول وإطالة مدة الإنشاء ما أمكن والإسراع بالدمج عن طريق طبقات الصرف أو آبار الرمال الرأسية.

٦-٢-٦-٥ ميول ومساطيح السد

يتوقف إتزان جسم السد على خصائص الأساسات ومواد الردم وكذا على قطاعات السد الهندسية. وعديد من العوامل التى تنتمى لإتزان السد تؤثر على إختيار ميول السد. فمن غير المرغوب إستخدام المساطيح الأفقية فى الميول الخلفية لأنها تميل إلى إصطياد وتركيز مياه الصرف من أسطح الميول العليا التى يصعب التخلص منها بطريقة مناسبة ومن ثم تنسكب مياهها وتنحر الميول أسفلها وذلك بعكس المساطيح الأفقية من جهة الأمام عند قاعدة الدكة الحجرية الرئيسية الواقية فهى مفيدة عند بناء وصيانة هذه الدكة.

٦-٢-٦-٦ إحتياجات الدمك

- تتوقف الكثافة والقابلية للدمك وقوة مواد الردم غير المنفذ وشبه المنفذ على المحتوى المائى أثناء عملية الدمك وعليه فإن تصميم جسم السد يتأثر بشدة بالمحتوى المائى الطبيعى لمواد المتارب وبالجفاف أو الرطوبة أثناء عملية الردم.

- التربة التى تدمك وهى رطبة ذات محتوى مائى أعلى من المستوى الرطوبى الأمثل تمثل نوعا من التربة اللدنة من حيث الإجهاد والإنفعال وصغر معاملات تشوهاتها. أما التربة التى تدمك وهى جافة بمحتوى مائى أقل من المحتوى المائى الأصلى فهى :
  - أ- تمثل إجهاد / إنفعال أكثر صلادة ومعامل التشوه بها عال.
  - ب- تكون ذات ضغوط مسامية منخفضة أثناء التشييد.
  - ج- تندمج أقل من التربة التى تضغط وهى رطبة بمحتوى مائى أمثل.

- حينما تقام السدود على أساسات ضعيفة قابلة للإنضغاط فمن الضرورى أن تكون خواص الإجهاد/ الإنفعال لكل من جسم السد ومواد الأساس متقاربة التشابه بقدر الإمكان. ومن الممكن جعل السد أكثر لدونه ليصبح ضابطا للهبوط إذا ما إنضغطت مواده وهى رطبة بمحتوى مائى أمثل.

- حينما تكون قوى القص لمواد السد أقل من التى بالأساس فى مثل حالة أساس قوى فإن مقاومة الردم تحكم تصميم الميول لأن قوى القص بالردم تتزايد بإنضغاطها عند محتوى مائى أمثل أو أقل قليلا من ذلك المحتوى وبذا تأخذ الضغوط المسامية المتنامية خلال فترة التشييد فى النقصان.

- فى مناطق الأكتاف قد يحدث هبوط نسبى داخلها إذا كانت ميول الأكتاف حادة أو يعترضها ما يمنع إستمرارها مثل وجود بناكيت أو بروزات رأسية لأن هذا قد يخلق مناطق شد تأثيرية وشقوق فى الجزء الأعلى من السد. وإذن فمن الضرورى ضغط التربة وهى رطبة بمحتوى مائى أمثل فى الجزء الأعلى من السد لمنع حدوث شقوق بسبب ذلك الهبوط النسبى.

- الكثافة التى يتم الحصول عليها من دمك التربة بإستعمال الهراسات التقليدية أو الهراسات المطاطية شاملة العدد القياسى لتمريرات Passes تلك المعدات وسمك الحطات يلزم أن تتساوى أو تقل قليلا عن أقصى كثافة يتم الحصول عليها من الإختبارات القياسية للإنضغاط بحيث لا تقل عن ٩٥ % من الكثافات القصوى الناجمة عن الإختبارات.

- يراعى أن يتم الدمك فى مناطق التماس بين جسم السد والأكتاف (السنادات) جيدا فإذا تعذر إستخدام معدات ثقيلة للدمك فى هذه المناطق فمن الضرورى إستعمال حطات رفيعة تدمك بمعدات يدوية.

- يلزم ألا يقل متوسط الكثافة النسبية Relative density فى المواقع التى تحتوى على تربة غير ملتصقة Cohesionless عن ٨٥ % وأى جزء من الردم يجب ألا تكون الكثافة النسبية له أقل من ٨٠%.

٦-٢-٦-٧ حماية الميول

تشمل حماية ميول السدود مقاومة الرياح وحت الأمواج والبلى الجوى وفعل الثلوج والأضرار المحتملة نتيجة النفايات الطافية وتتضمن هذه الحماية عمل فرشات حجرية Riprap أو تبليطات خرسانية سابقة الصب أو مصبوبة فى الموقع أو تبليطات بيتومينية أو حشائش الجازون أو تثبيت التربة بالبيتومين على أن نوعية الوقاية تتوقف على وجود مواد كافية ومدى مطابقتها للموقع إقتصاديا.

- تحتاج ميول الأمام إلى عناية أكبر من العناية بالميول الخلفية لأنها معرضة لفعل الأمواج. كما تتوقف حماية ميول الأمـام علـى سرعة الرياح المتوقعة ومدى إستدامتها وكذا حجم وشكل الخزان بالإضافة إلـى مدى إستدامة منسوب سطحه ثم علـى مدى تكرار تغير مناسيب البركة. ولا يحتاج الأمر فى البركة ذات المنسوب الثابت إلـى وقاية كبيرة تحت أوطى منسوب لها حيث أن عوامل النحر ليست بذات شأن تحت هذا المنسوب ويكتفى عندئذ بإستخدام مختارات من الزلط. أما أعلى منسوب التخزين فيحتاج إلـى الوقاية من فعل الأمواج. وتحتاج الميول الخلفية للوقاية من النحر الناجم عن تصرف الخزان أو فعل الرياح ويدخل ضمن ذلك القطاعات التى تتأثر بفعل الأمواج فى الخلف.

حماية الميول الأمامية

- تكويم الدبش هو الطريقة المثلى لوقاية الميول الأمامية للسدود. والمقصود بتكويم الدبش Dumped riprap هو التوزيع الجيد لأحجام الأحجار فالتدبيش بسمك حتى ٠,٦٠ مترا يجب أن يكون جيد التدرج إبتداء من شظيات الأحجار Spalls إلى أكبر حجم منها. فإذا كان السمك أكبر من ذلك فتستعمل زلاقات ذات أسياخ متوازية لها مسافات بينية مناسبة تسمح بسبب وضعها المائل للمواد الصغيرة الحجم (أقل من ٢٠ كجم) بالسقوط من بينها أما المواد الكبيرة فتنزلق وتتكوم عند أسفل الزلاقة.

- يعتمد حجم وسمك التدبيش على إرتفاع الموجة الذى يقدر بمدى تأثير الريح Fetch وسرعته Velocity وإستدامته Duration of wind كما هو مبين بالشكل (٦-٣) ويستخدم الشكل (٦-٤) لتحديد حجم التدبيش وسمك طبقة التدبيش ويلزم أن لا يقل سمك تدبيش الميول الأمامية عن ٠,٣٠ مترا.

- المناطق الضحلة Shoal areas والجزر والسنمات Ridges التى تمتد فى الخزان كلها تقلل من مدى تأثير الريح Fetch على المياه فى الأجزاء المتاخمة لأكتاف السد وعندئذ يمكن فى هذه المناطق تقليل حجم التدبيش وسمكه عما هو مسموح به فى الجزء الرئيسى للسد.

- لوقاية الميول الأمامية يبدأ بناء التدبيش من منسوب أوطى من سطح مياه الخزان بنحو ٠,٧٥ مترا حتى قمة السد أما تحت هذا المنسوب فيمكن عمل مسطاح واق يقام من نفايات الصخور.

- يجب تصميم طبقات مخدات التدبيش كطبقات رشح عندما يكون السد المراد حمايته مكونا من تربة سلتية أو رمل سلتى أو رمل ويلزم فى تدرج مواد طبقة المرشح أن تمنع مواد السد من التحرك داخل هذه الطبقة وتمنع أيضا طبقة المرشح من التحرك فى دكة التدبيش.

حماية الميول الخلفية

- إذا كانت هناك حشائش كافية يمكن إستخدامها فإن الغطاء الخضرى هو الوسيلة المثلى لحماية الميول الخلفية والميل ١ : ٢,٥ يعتبر أقصى ميل مقبول لتمكين معدات الحش والتسميد من العمل بكفاءة وفى المناطق القاحلة أو شبه القاحلة حيث يصعب إستعمال حشائش الجازون Turf يمكن حماية المناطق الخارجية المكونة من التربة القابلة للتعرية (طمى ورمل) بفرشة من الزلط وكسر الأحجار بسمك نحو ٣٠ سم مجهزة بخنادق مجمعة عند كعب السد.

- إذا كانت الميول الخلفية معرضة للمياه فإن ما تم عمله بالأمام يقتضى عمله بالخلف وكحل بديل آخر يمكن عمل كعب حجرى Toe يمتد إلى أعلى منسوب مياه الخلف.

٦-٢-٧ أجهزة القياس والمراقبة

من الضرورى تزويد السدود الترابية والركامية بأجهزة قياس حديثة يعول عليها لتسجيل تحركات جسم السد وأساساته ولقياس الضغوط المسامية والتسريب ويراعى أن وضع وتركيب الأجهزة لا يعد نهاية المطاف بل أن جمع وتوصيف البيانات المسجلة وفحصها وتحليلها بمعرفة المختصين بصفة دورية هو الأهم. ويتوقف نوع وعدد ومواقع تركيب الأجهزة على أهمية المشروع ومدى تشابك وتعقيد التصميم.

٦-٢-٧-١ أنواع الأجهزة

البيزومترات

- يتوقف أمان السدود على الضغوط الهيدروستاتيكية التى تنمو فى جسم السد وطبقة الأساس وتستخدم البيزومترات لقياس الضغوط المسامية ولتقدير كميات التسرب ومدى فاعلية وسائل الصرف.

- تركب البيزومترات فى مجموعات رأسية عمودية على محور السد لتشكل قطاعات عرضية ويراعى توزيع البيزومترات فى كل قطاع عرضى على مسافات مناسبة بين كعبى السد الأمامى والخلفى وعلى أعماق مختارة فى جسم السد وأن يمتد بعضها داخل طبقة الأساس.

- يجب مراعاة أن يكون طرف البيزومتر فى طبقة منفذة فإن لم تتوفر هذه الحالة طبيعيا فى جسم السد لزم عمل كسوة للبيزومتر ذات جيب مملوء بمواد منفذة ويجب تزويد البيزومتر بحابك عند قمته وأن تكون الفواصل والوصلات فى أنابيب البيزومترات كتيمة.

الأشاير السطحية

تستخدم الأشاير السطحية Surface Monuments لقياس الهبوط وتركب كل ١٥ متر من طول قمة السد للسدود التى لا يتعدى طولها ١٥٠ متر وتكون المسافات البينية لهذه الأشاير ٣٠ مترا للسدود التى لا يتعدى طولها ٣٠٠ متر وتتراوح هذه المسافة ما بين ٦٠ - ١٢٠ مترا إذا جاوز طول القمة هذا الحد وتوضع هذه الأشاير أيضا فى مواقع متوسطة من ميول السد الخلفية.

أجهزة قياس الميول

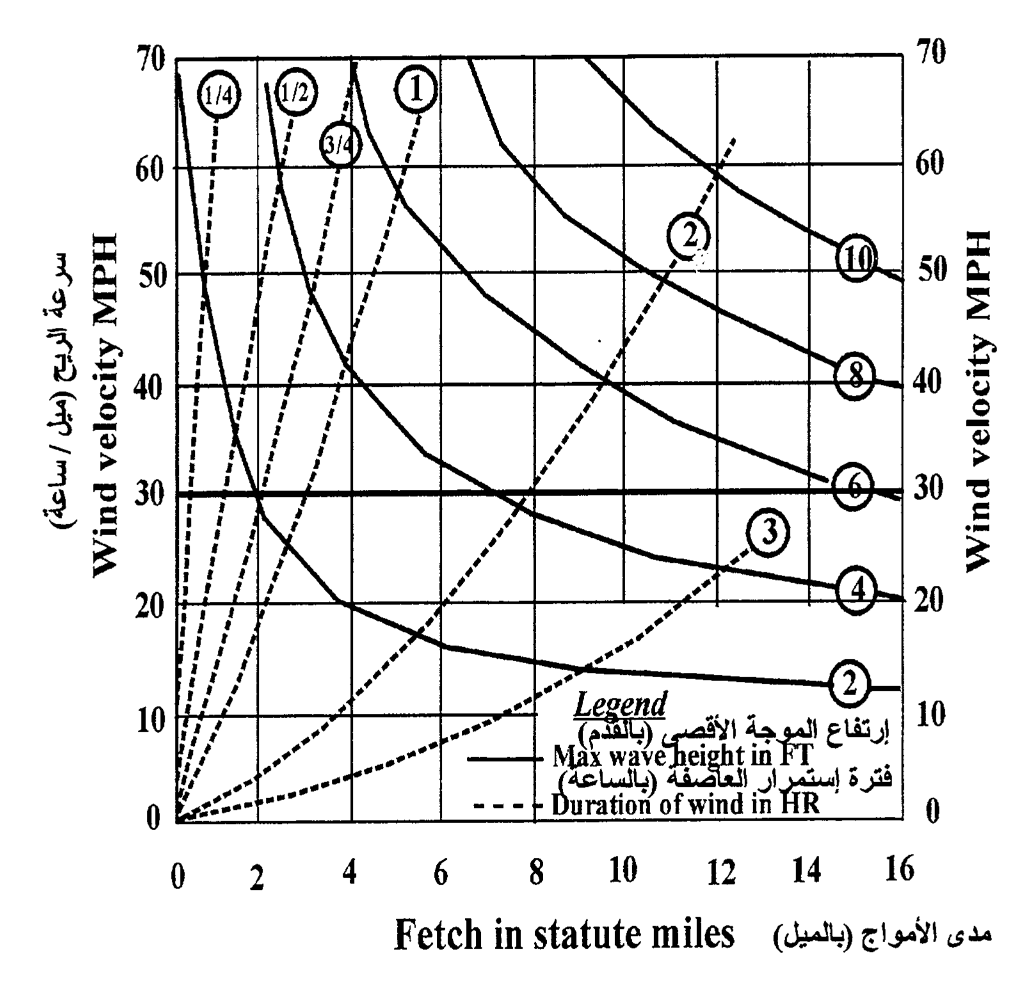
تركب أجهزة قياس الميول Inclinometers على قطاع عرضى واحد أو أكثر للسدود العالية فى الوديان العميقة الضيقة أو على السدود المقامة على أساسات ضعيفة وذلك لدراسة تحركات جسم السد.

مسجلات التحركات

هناك أجهزة متنوعة لقياس التحركات الأفقية والرأسية والإنفعالات كالتحركات المتاخمة للمنشآت المدفونة أو هبوط الأساس أو الإنفعالات الداخلية. ويكشف قياس الإنفعالات تشققات النواة والتى تتركز غالبا بالقرب من الأكتاف وأسفل قمة السد.

المعجلات

يجب تركيب معجلات Accelerometers ذات غمازات ذاتية لتسجيل رد فعل السد فى المناطق ذات النشاط الزلزالى.



شكل (٦-٣) إرتفاع الأمواج كدالة فى سرعة الرياح والمدى وفترة إستمرار العاصفة

٦-٢-٧-٢ تنسيق العمل و التسجيلات

يراعى إفراد قسم أو ملحق فى سجل تصميم السد يشمل الأجهزة المقترحة للمشروع ويتضمن العناصر الآتية :

- عدد ومواقع وأنواع الأجهزة المستخدمة.
- رسم خاص يوضح المسقط الأفقى للمشروع ومواقع تركيب الأجهزة.
- جدول عام للأجهزة وتكرار قراءتها.
- شرح واف لغرض كل جهاز.
- ملف بكشوف التسجيلات لكل جهاز.

٦-٣ السدود الركامية Rockfill Dams

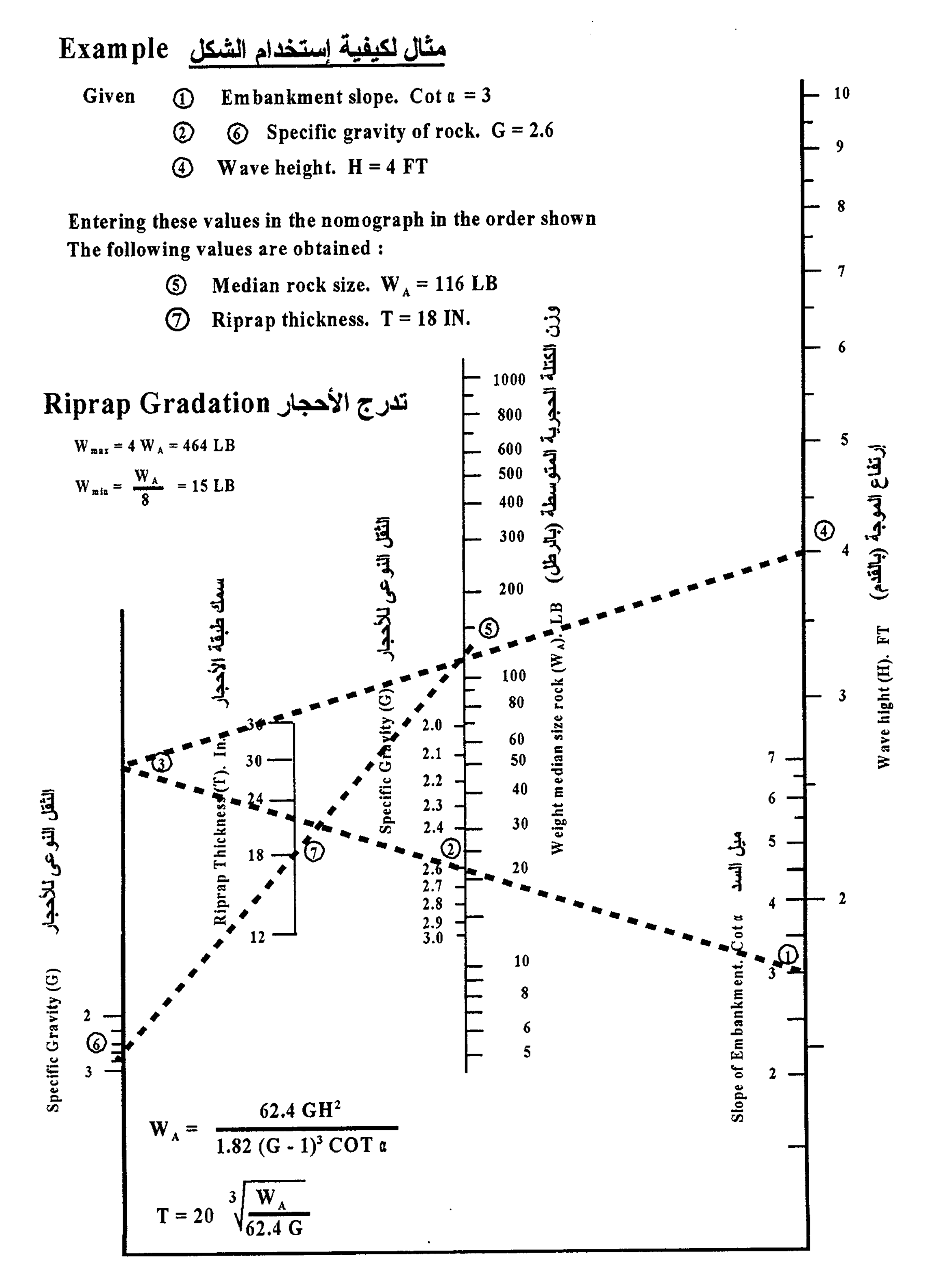
٦-٣-١ مقدمة

يتم إنشاء السدود الركامية من ثلاثة عناصر رئيسية تكون جسم السد :

١- كتلة الأحجار المفككة وهى تمثل العنصر الرئيسى لجسم السد الذى يقاوم قوة الدفع الأفقية الناتجة عن ضغط المياه أمام السد.

٢- الطبقة المانعة لتسرب المياه وتكون عادة إما على الميول الأمامية لجسم السد وتنشأ عادة من الخرسانة أو البيتومين أو شرائح الصلب وإما أن تكون فى محور السد وتكون غالبا من التربة المضغوطة.

٣- الطبقة المتدرجة من أحجار صغيرة تكون مخدة أسفل الغشاء غير المنفذ للمياه على الميول الأمامية للسد.



شكل (٦-٤) حماية الميول للسدود الترابية بإستخدام تكويم الأحجار

ويعتبر إنشاء السدود الركامية إقتصاديا مقارنة بالأنواع الأخرى للسدود للأسباب وفى الحالات الآتية :

- تعتبر السدود الخرسانية عالية التكاليف لإرتفاع تكاليف مكوناتها.
- صعوبة توافر الأتربة المناسبة لإنشاء السدود الترابية.
- تربة التأسيس للسدود الركامية عادة لا تصلح للسدود الثقيلة.
- توافر الأحجار الجيدة المناسبة لإنشاء جسم السد وتوافرها بكميات كبيرة بالموقع.
- لا تتأثر كثيرا بالقوة التى تنتج من الزلازل كما يحدث فى حالة السدود التثاقلية.

٦-٣-٢ أنواع السدود الركامية

السدود الركامية هى تلك السدود التى تعتمد على الأحجار سواء كانت منقولة عشوائيا أو مصفوفة على طبقات مع تزويد السد بغشاء أو طبقة غير منفذة للمياه تنشأ عادة إما على الميول الأمامية لسطح السد أو داخل جسم السد على طول المحور وتتكون مواد هذا الغشاء من أى من المواد الآتية :

- الأتربة المضغوطة وغير المنفذة للمياه.
- الخرسانة العادية أو الخرسانة المسلحة.
- الخرسانة البيتومينية المكونة من خليط الرمل والبيتومين.
- الستائر المعدنية.

هذا ويمكن تصنيف السد الركامى حسب مكان وضع الطبقة أو الغشاء غير المنفذ للمياه كالآتى :

- سد ذو نواة مركزية على طول إمتداد السد Central core .
- سد ذو نواة داخل السد مائلة Sloping core .
- سد ذو غشاء على الميول الأمامية Upstream membrane .

تحدد المميزات والعيوب للطبقة غير المنفذة للمياه حسب وضعها بالنسبة للسد والمواد المستخدمة فى إنشائها. وعلى سبيل المثال فإن النواة المركزية والمائلة داخل جسم السد يتم إنشاؤها عادة من التربة كما وأن النواة الرأسية فى محور السد تعطى عادة ضغطا عاليا على تربة الأساس فتقل إحتمالات تسرب المياه فى هذه المنطقة مما يؤدى إلى عدم تحرك المواد الناعمة المكونة للنواة فى حين تستخدم الخرسانة والبيتومين والستائر المعدنية فى حالة الغشاء غير المنفذ للمياه على الميول الأمامية للسد.

وفيما يلى مميزات كل منهما :

الغشاء الخارجى	النواة الداخلية
مرئى للفحص ولأعمال الصيانة يجب إنشاء الغشاء بعد إستكمال الجسم الركامى يمكن حقن تربة الأساس أثناء إنشاء الجزء الركامى يمكن إستخدامه كحماية للميول يمكن تعلية السد بسهولة بعد الإنتهاء من الإنشاء	المساحة الكلية المعرضة للمياه قليلة أطوال ستائر الحقن قصيرة حماية كاملة للنواة من العوامل الجوية والتأثير الخارجى

فى حالة إستخدام النواة المركزية أو المائلة داخل جسم السد لابد من حمايتها بطبقة من المرشحات فى الأمام والخلف على أن تراعى الدقة الكاملة فى تصميم مواد هذه المرشحات.

٦-٣-٣ أساسات السدود الركامية

القاع الصخرى الذى يتميز بالصلابة ومقاومة التآكل يكون أكثر ملاءمة للسدود الركامية ويمكن إستعمال الأساسات المكونة من ركام النهر River gravels أو كسر الحجارة Rock fragments مع إستعمال قاطع للمياه Cutoff يصل إلى طبقة الصخر. وتعتبر الطريقة الشائعة لمعالجة الأساس لمنع التسرب تحت السطحى هى الحقن بالأسمنت بالقرب من قاطع المياه بالإضافة إلى تغطية المناطق المنفذة فى الأمام بمواد غير منفذة.

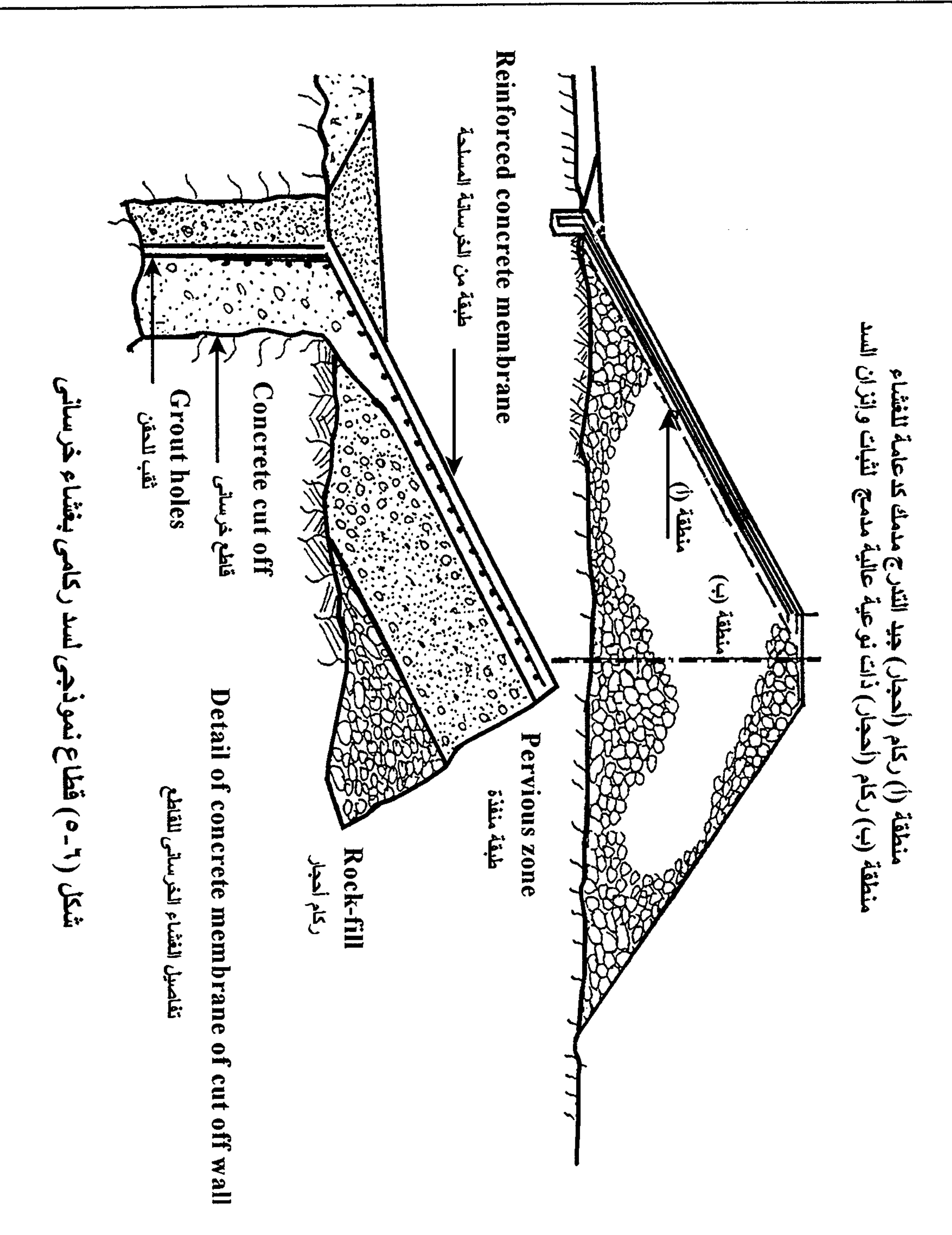
يجب حفر حوائط قواطع المياه لأعماق مختلفة داخل القاع الصخرى لمنع إنهيار الطبقات العليا من تربة الأساس ولتسهيل عمليات الحقن والتى تعتبر كحاجز للمياه مع الغشاء الحاجز للمياه والشكل (٦-٥) يوضح تفاصيل قطاع نموذجى لسد ركامى ذى حائط قاطع المياه. ومن الضرورى ألا يقل عمق وعرض حائط قاطع المياه داخل الصخر عن ١,٥ م ويجب تعميق الحائط فى حالة التربة غير الصماء أو ذات التشققات وفى حالة فواصل الصخور المتقاربة Closely jointed rock ويجب أن يمتد القاطع على طول وصلة التلامس الأمامية بين الغشاء والأساسات.

٦-٣-٤ جسم السد الركامى

تتراوح أنواع الأحجار المستخدمة فى جسم السد من أحجار صلدة كالجرانيت إلى مواد ضعيفة مثل الأحجار الرملية والأحجار الناتجة من حفر المفيضات وأعمال المخارج والأنفاق والمنشآت الهامة الأخرى بموقع السد للمساعدة على تقليل تكاليف الإنشاء.

تعتمد الميول فى الأمام والخلف للسدود الركامية على نوع الغشاء المانع للتسرب ومكانه ، ففى حالة السدود الركامية ذات النواة المركزية أو النواة المائلة تتراوح الميول من ٢ : ١ إلى ٣ : ١ فى الأمام والخلف على التوالى أما فى حالة السدود الركامية ذات الغشاء المانع للمياه فى الأمام فإن الميول الأمامية تتراوح ما بين ١,٣ : ١ إلى ١,٧ : ١ والميول فى الخلف تأخذ الميول الطبيعية لنوع الأحجار المستخدمة.

وجدير بالذكر أن معظم السدود المغطاة بغشاء خرسانى أسفلتى تم إنشاؤها بميول فى الأمام تتراوح من ١,٦ : ١ إلى ١,٧ : ١ وذلك لسهولة إنشاء الغشاء ، والسدود المغطاة بخرسانة أو حديد تم إنشاؤها بإستخدام ميول فى الأمام تتراوح من ١,٣ : ١ إلى ١,٤ : ١ . وتعتمد الميول فى الأمام والخلف للسدود الركامية ذات النواة الترابية (مركزية أو مائلة) على حجم وخواص تربة مواد النواة وعرض طبقة المرشح المطلوب ونوع مواد الأساسات ومتطلبات سحب المياه. وعامة فإن ميول الأمام والخلف فى السدود الركامية ذات قلب ترابى تتراوح من ٢ : ١ إلى ٣ : ١ وشكل (٦-٦) يوضح قطاعا نموذجياً لسد ركامى ذو واجهة مسطحة وغشاء أمامى من الحديد Steel plate membrane حيث يمكن تقسيم قطاع السد إلى ثلاث مناطق كما يلى :



شكل (٦-٥) قطاع نموذجى لسد ركامى بغشاء خرسانى

منطقة (أ)

وتتكون من ركام وأحجار ذات أحجام صغيرة جيدة التدرج وتستعمل كدعامة للغشاء فى الأمام ولطرد فواقد المياه المتسربة من الغشاء فى حالة حدوث شروخ به.

منطقة (ب)

وتتكون من أحجار أقل كفاءة من أحجار المنطقة (ج) وتكون من الموقع أو من ناتج حفر المفيض وتستعمل لتقليل تكاليف إنشاء السد.

منطقة (ج)

أكبر المناطق حجما وتوضع فى الخلف من السد وتتكون من أحجار ذات كفاءة جيدة وحجمها كبير ومضغوطة وتعتبر هذه المنطقة مسئولة عن ثبات وإتزان السد.

ويجب أن يتراوح حجم الأحجار المستخدمة فى المنطقة (ج) من ٣٠ سم إلى ٩٠ سم وأن تكون جيدة التدرج. والمنطقة (ب) يتراوح حجم الأحجار بها من ٣٠ سم إلى ٧,٥ سم. والمنطقة (أ) أقل من ٧,٥ سم إلى ٠,٦٥ سم وأن يكون جيد التدرج ويعتمد التدرج فى المنطقة (أ) على نوع الغشاء المستعمل وطريقة الإنشاء والمواد المستعملة فى المنطقة (أ) علاوة على ذلك يجب أن تعطى سطح تحمل أملس ومنتظم لواجهة الغشاء وأيضا تكون جيدة التدرج لسحب كميات المياه المتسربة عند حدوث شروخ بالغشاء.

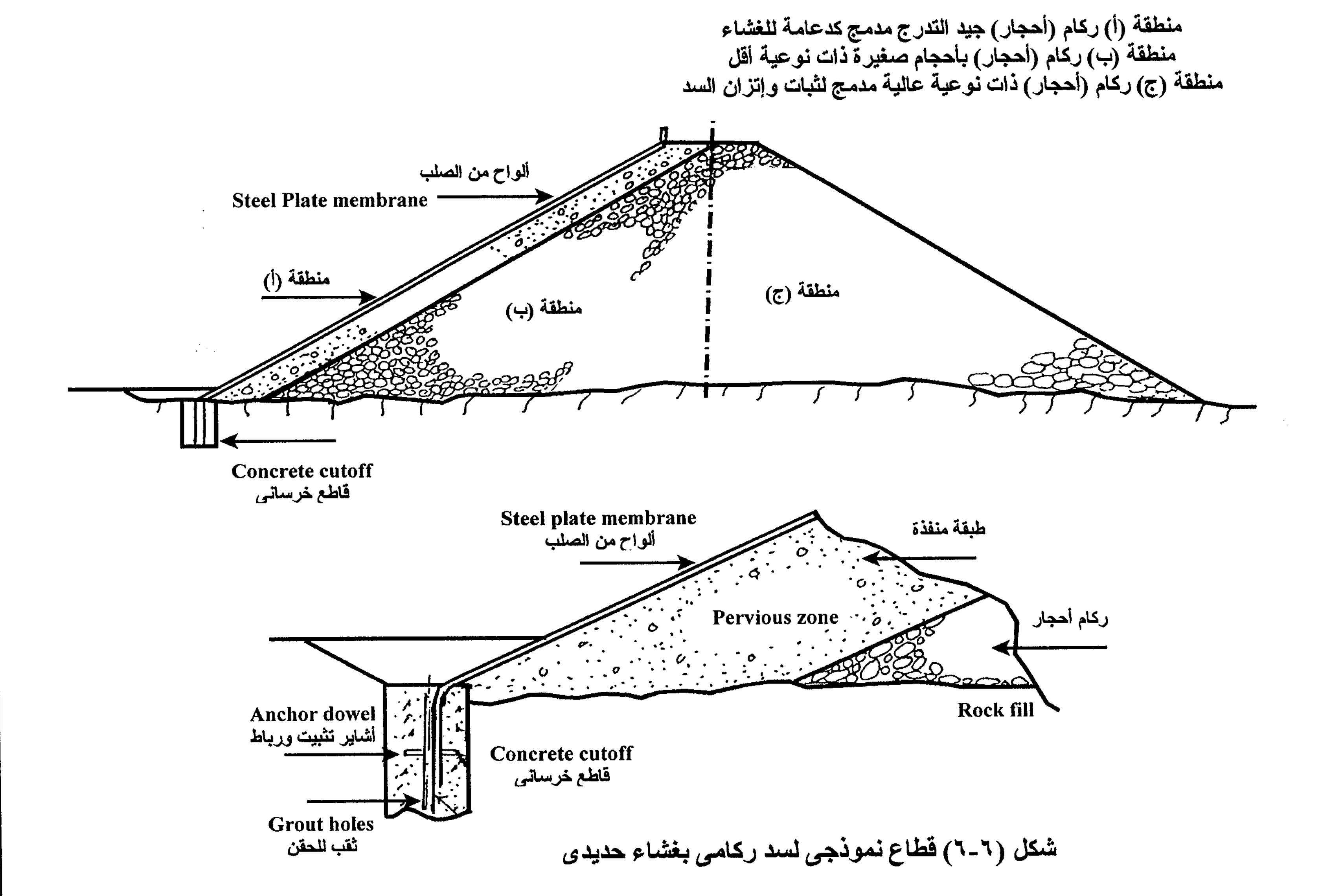
٦-٣-٥ الأغشية فى السدود الركامية

٦-٣-٥-١ النواة الترابية

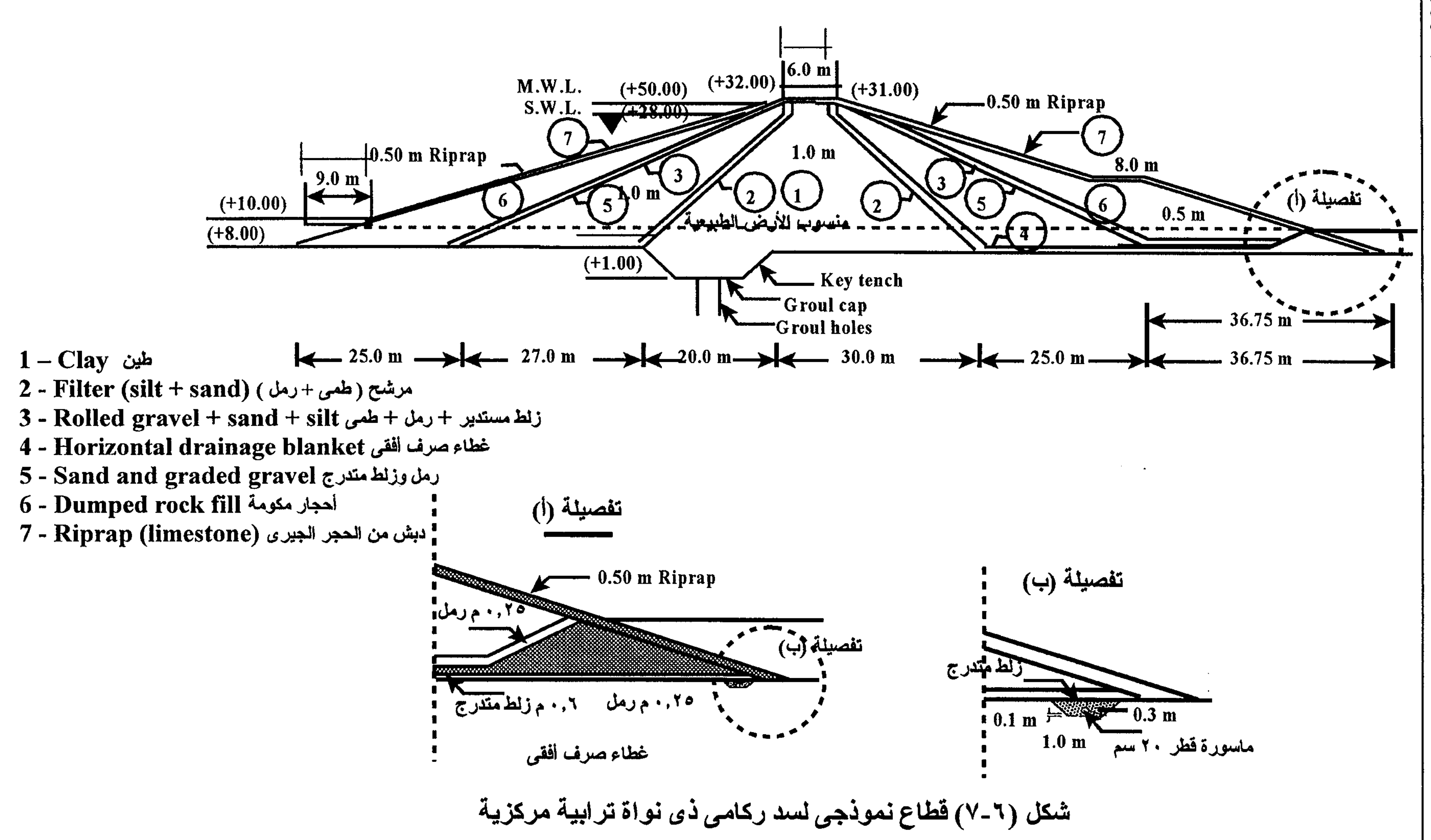
عندما تسمح ظروف الموقع بإستخدام السدود الركامية ذات النواة الترابية كما هو مبين بالشكل (٦-٧) عادة تكون الأقل تكلفة. ويجب أن تكون المواد غير المنفذة المستخدمة فى النواة مشابهة للمواد التى تستخدم فى نواة السدود الترابية. ويجب أن توضع مواد النواة عند أنسب محتوى رطوبة وعلى طبقات سمك كل منها ١٥ سم وأن تضغط بهزازات ذات الأثنى عشرة لفة ويجب أن يكون دليل اللدونة The plasticity index للمواد المستعملة فى النواة مناسباً ليسمح بتشكيل النواة بدون حدوث إنهيارات.

٦-٣-٥-٢ غشاء الخرسانة المسلحة

يستخدم غشاء الخرسانة المسلحة فى عدد كبير من السدود الركامية ويجب عمل فواصل التمدد الأفقية والرأسية للبلاطة الخرسانية المسلحة للغشاء كما يجب تزويد الفواصل بالمواد العازلة للمياه مثل P.V.C Water stop ويعتمد نوع مانع المياه بين الغشاء الخرسانى والأساسات على كفاءة الصخر. ويوضح الشكل (٦-٨) قطاعاً نمطياً لسد ركامى ذى غشاء خرسانى فى الأمام. ويزود الغشاء الخرسانى بما يعرف بحائط الحجز Parapet wall الذى يعتبر جزءا من العمق الحر اللازم لمنع حركة الموجات إلى أعلى وغمرها للسد.



شكل (٦-٦) قطاع نموذجى لسد ركامى بغشاء حديدى



شكل (٦-٧) قطاع نموذجى لسد ركامى ذى نواة ترابية مركزية

٦-٣-٥-٣ الغشاء الأسفلتى

يستخدم الغشـاء الأسـفلتى علـى نطـاق واسـع فـى السـدود الركاميـة حيث يعطـى مرونـة عالية وبذلك يسمح بهبوط أكبر من الغشاء الخرسانى ويؤخذ كبديل إقتصادى بالمقارنة بالخرسانة ويمتاز بسهولة تشكيله عند إنشائه.

ويجب أن تكون ميول الأمام للسدود الركامية ذات الغشاء الأسفلتى ٣ : ٢ أو تكون ذات ميل أقل Flatter كمـا هو واضح فى شكل (٦-٩) ويجب أن يكون سمك الغشاء الخرسانى الأسفلتى بين ٢٢ سم إلى ٣٠ سم وغالبا ما يتم تطبيق مواصفات رصف الطرق. ويفضل تنفيذ هذا الغشاء على ثلاث طبقات ويجب وضع طبقة عازلـة للتسرب علـى السطح النهائى للغشاء حيث أن هذه الطبقة تعزل وجه الغشاء وتزيد من قوة تحمله لتأثير المياه ، وكل طبقة توضـع علـى شكل شرائح عرض كل منها يتراوح بين ٣ متر إلى ٣,٥ متر، وتنشأ على زاوية قائمة مع محور السد ويجب أن تكون الفواصل بين الشرائح المتقاربة لوجه الغشاء محكمة وذلك لمنع نفاذية المياه ويجب أن تكون الفواصل المتقاطعة Transverse joints فى الشرائح أقل ما يمكن وأن يتم إنشاؤها عند درجة حرارة عالية كلما أمكن ذلك.

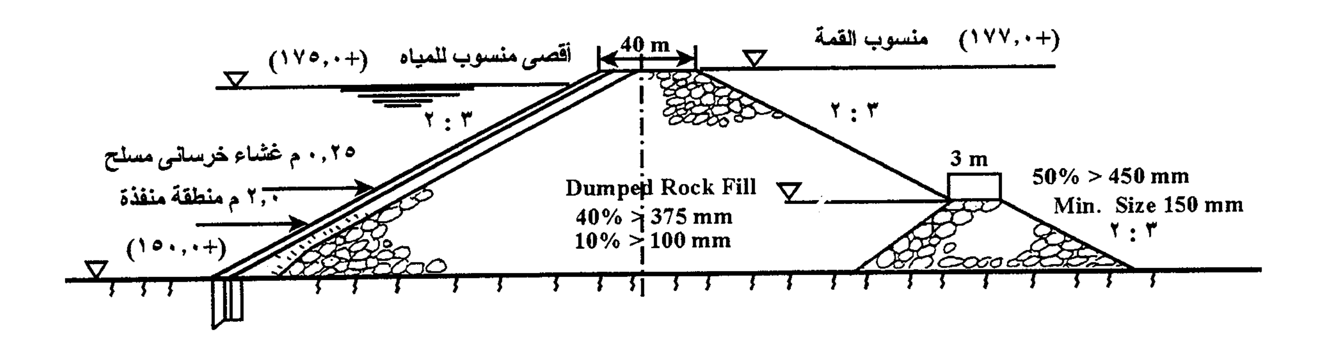
وعند وضـع شريحة على قمة شريحة أخرى يجب أن تغطى الفواصل المتوازية فى شرائح الطبقة العليا فواصل الشرائح السفلى بمسافة ٩٠ سم الى ١٢٠ سم.

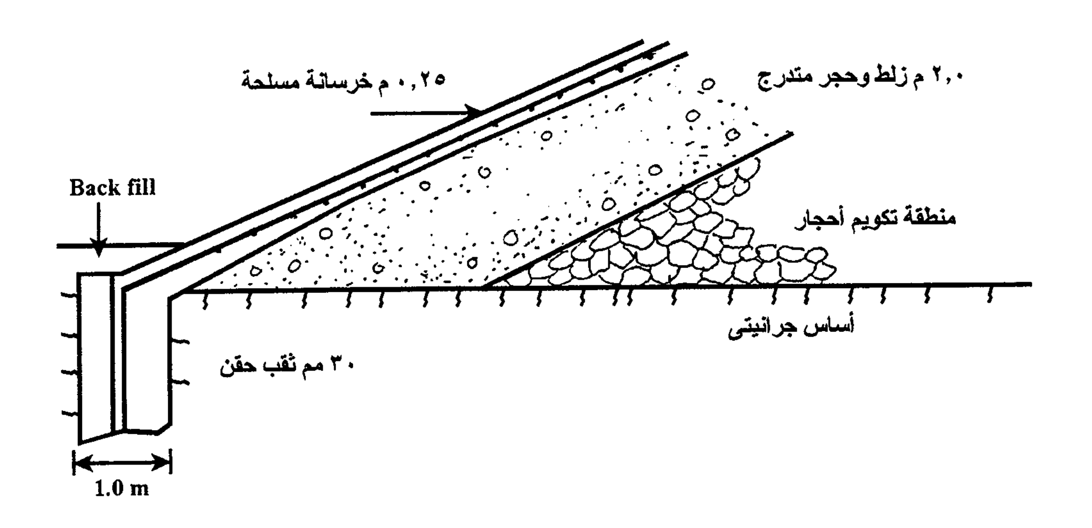
٦-٣-٥-٤ الغشاء الحديدى Steel Membrane

يستخدم الغشاء الحديدى فى عدد قليل من السدود على المستوى العالمى والسدود ذات الغشاء الحديدى يتم إنشاؤها بسرعة ويجب أن تكون قادرة على السماح بحركة لجسم السد أكبر من تلك التى فى حالة السدود ذات الغشـاء الخرسـانى أو الأسفلتى. وأكبر عيوب الغشاء الحديدى أن مقاومته للعوامل الكيميائية تقلل من عمره الإفتراضى ويمكن التغلب على هذه الصعوبة بإستعمال الحماية الكاثودية Cathodic protection على كل من وجهى اللوح الحديدى.

٦-٣-٦ معامل الأمان ضد الإنزلاق

يجب أن تكون السدود الركامية ذات قطاع ووزن كافى لمنع الإنهيار بالإنزلاق Sliding ومعامل الأمان ضد الإنزلاق لمعظم هذه السدود يكون أكبر من أى نـوع أخر مـا عدا السدود الترابية. وتخلق الأحمال الناتجة عن المياه قوة الإنزلاق وتكون محصلة قوة المقاومة ناتجة من وزن الأحجار والمركبة الرأسية لوزن المياه علـى الغشـاء المـانع للتسرب إن وجدت. ويؤخذ فـى الإعتبار القوة الناتجة عن الغمر لتقليل الأوزان عند حساب عوامل الإنزلاق فى حالة الردميات ذات النفاذية القليلة أو حينما يكون السد مغمورا جزئيا فـى الخلف ، وفـى حالـة الردميات ذات النفاذية الجيدة والتى تحتوى على أقل نسبة من الفراغات فإنها تعطى عامل أمان كبير ضد الإنزلاق ومعاملات الإحتكاك للأحجار غير المتماسكة على الأحجار أو أعلى الأحجار غير المتماسكة يتراوح بين ٠,٦ : ١ .

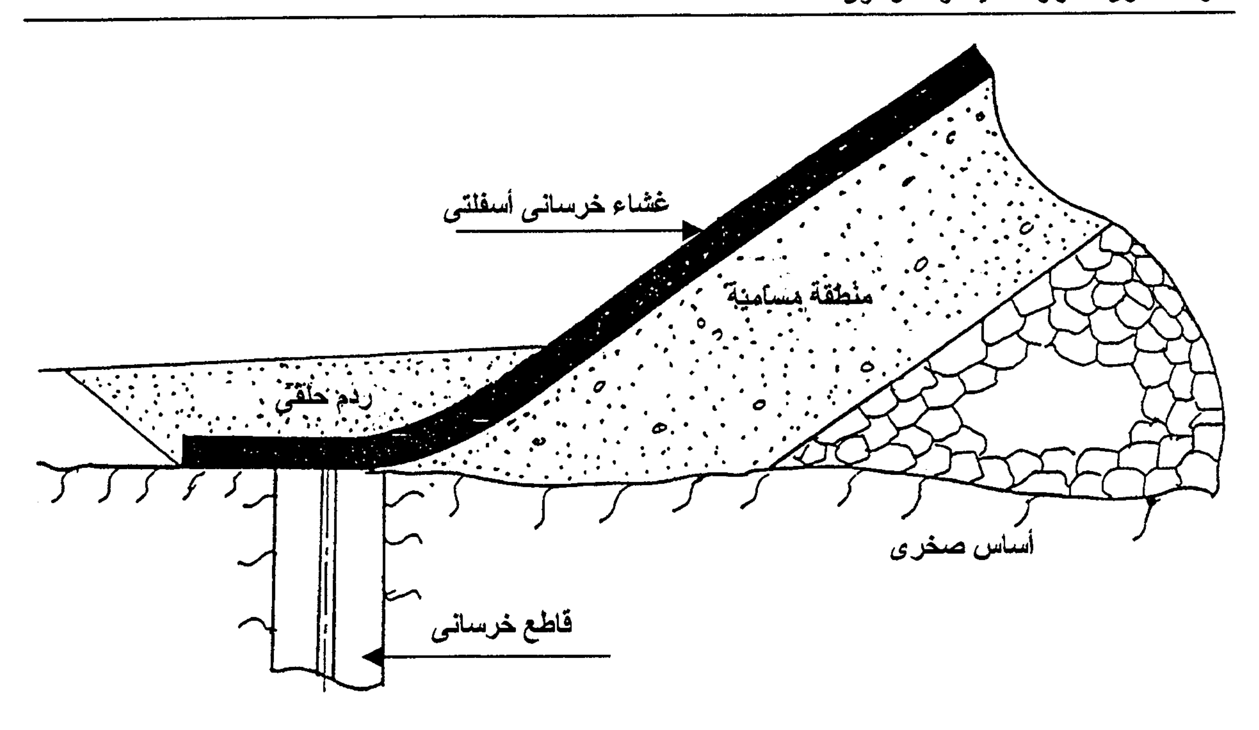




شكل (٦-٨) قطاع نموذجى لسد ركامى ذى غشاء خرسانى فى الأمام

٦-٣-٧ أعمال المخارج

يفضل وضع الأنفاق ضمن مكونات الأكتاف الصلبة والمنفصلة عن السد فى حالة السدود الركامية الهامة والمرتفعة وغالبا ما يتم إنشاء أنفاق تحويل النهر لتلائم المتطلبات المستمرة لأعمال المخرج ويمكن تبطينها بخرسانة عادية أو مسلحة لتقليل الشروخ أو يتم عمل حقن تحت ضغط أو يمكن إحاطة أعمال مخارج الأنابيب الحديدية بالمثبتات الملائمة التى تحميها ضد ضغط مياه بحيرة التخزين ، وقد تم إستخدام مواسير الصلب المرن فى البرابخ الخرسانية المسلحة والمواسير الحديدية المحمية بالخرسانة بنجاح فى السدود الركامية المتوسطة والمنخفضة الإرتفاع ويجب تصميم الوصلات بعناية وأن تحمى كاملا ضد الإنهيار الناتج عن عمليات الإنشاء والقوة المتولدة عن الوزن وحركة جسم السد الركامى.



شكل (٦-٩) تفاصيل غشاء الخرسانة الأسفلتية فى الأمام لسد ركامى

٦-٣-٨ الإرتفاع الحر والحائط الحاجز

يجب أن لا يقل العمق الحر Free board فى السدود الركامية عن ١,٠٠ متر وفى بعض الأقطار يتم حساب العمق الحر بإستعمال المعادلة الآتية :

$$H = 1.5\,(1.5\,d^{1/2} + 2.5 - d^{1/4}) \qquad (6\text{-}1)$$

حيث

H = الإرتفاع الحر (قدم)

d = المسافة بالميل من السد إلى أقصى نقطة على طول شاطئ بحيرة التخزين مقاسا عبر الماء المكشوف وتعرف أيضا بالمدى المكشوف للمياه أمام السد

ويجب أن يكون الإرتفاع الحر المحسوب للسدود الركامية كبيرا فى حالة السدود الواقعة فى مناطق زلازل أو فى حالة السدود المتوقع حدوث هبوط كبير بها.

وتعمل حوائط الحجز Parapet wall على طول حافة السد الركامى فى الأمام كحاجز حامى وتكون ذات قيمة عالية وتكون الزيادة المفرطة فى سعة المفيض بدون إنقاص حجم سعة التخزين غير مكلفة إذا تم بناء حائط الحجز على بعض السدود القديمة.

٦-٣-٩ هبوط السدود الركامية Settlement of Rockfill Dams

الهبوط متوقع لكل السدود الركامية وينتج الهبوط من ضغط الردم والأساسات تحت تأثير أحمال وزن الأحجار وضغط مياه بحيرة التخزين وكل هذه الأحمال يتم نقلها من خلال الردم Fill إلى الأساسات أو تنقل عبر مقاومة قص كتلة الأحجار ، ويتناسب الهبوط الكلى مع كمية الأحمال الموجودة والمسافة فى إتجاه محصلة القوة التى تعمل خلالها.

ينتج الهبوط الرأسى من أوزان الأحجار ومركبة ضغط المياه الرأسية ، ويتناسب الهبوط الرأسى الناتج عن حمل الأحجار فقط عند أى نقطة على وجه السد مع مربع المسافة الرأسية من الوجه إلى الأساسات. وبالتالى يتوقع أن يحدث أقصى هبوط أسفل أعلى نقطة من السد بينما يقل الهبوط تحت الردميات الضحلة على طول الميول الظاهرة وعند الإلتحام بالأكتاف. ويجب تصميم قمة السد أعلى من المنسوب النظرى بمقدار يتناسب مع الهبوط الرأسى المحسوب أو يزداد الهبوط من صفر عند الأكتاف لقيمة قصوى عند أعمق قطاع للسد.

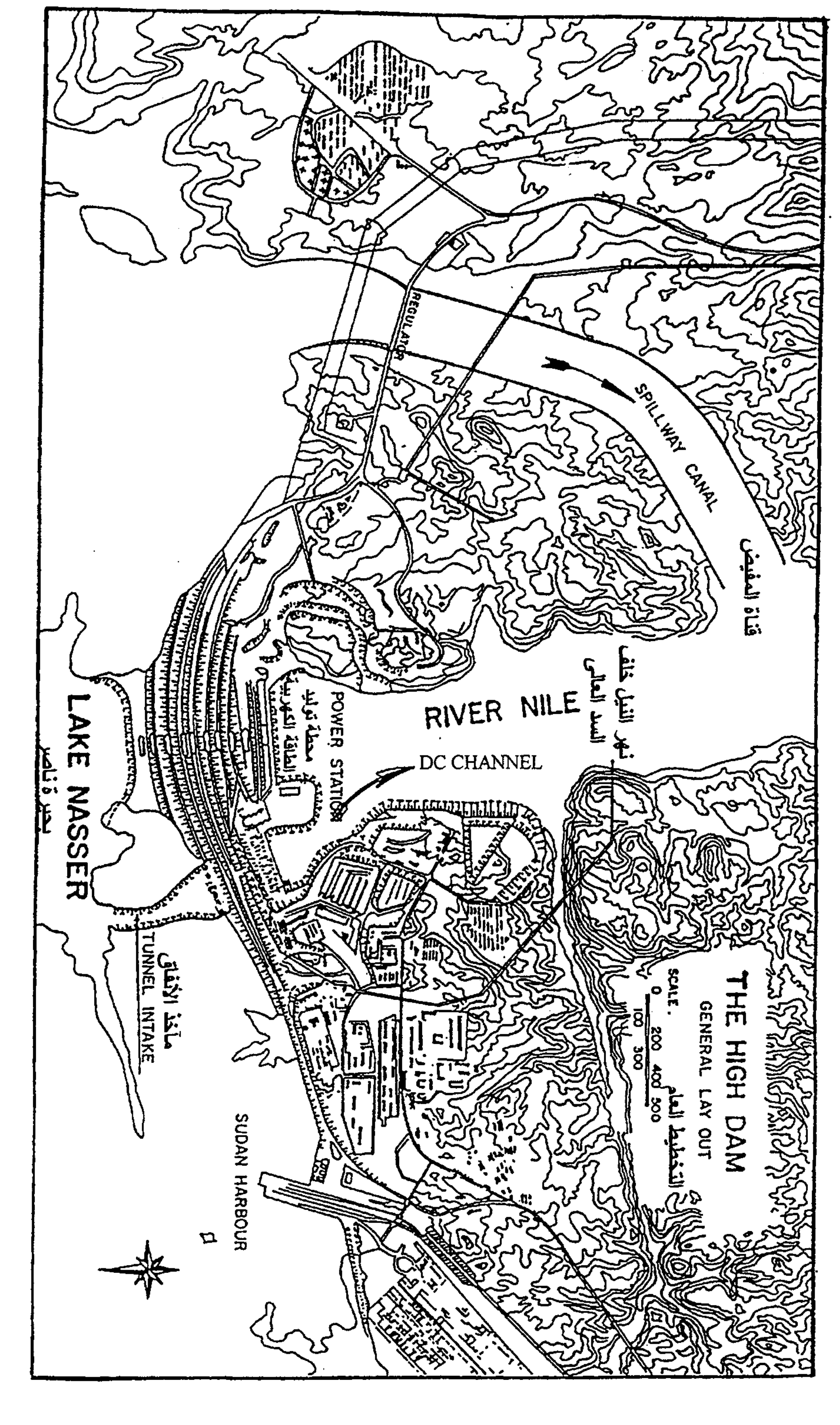
ويشير تحليل الهبوط فى السدود الركامية إلى ما يلى :

- تهبط ميول الأمام المنبسطة أكبر من الميول شديدة الإنحدار.
- تحدث معظم عمليات التكسر وإعادة ضبط الأحجار فى مناطق القاع من الردميات العميقة قبل تأثير أحمال المياه.
- تؤثر خواص الأساسات وأنواع الأحجار على الهبوط ويجب ألا تنشأ السدود الركامية على أساسات ضعيفة تسمح بحدوث هبوط كبير.
- يتأثر الهبوط بشكل وميل جوانب الوادى ففى حالة الميول الجانبية البسيطة يكون الهبوط النسبى للسد صغير مقارنة بالميول الحادة ويمكن أن تسبب الأودية المتدرجة وذات الشكل الصندوقى صعوبات فى مناطق الغشاء الملاصقة للأكتاف.
- يجب متابعة أداء الأغشية المعرضة لضغوط مياه كبيرة لمنع إنهيارها نتيجة لهبوط طبقات الردم تحتها ويجب عمل الإحتياطات اللازمة لمواجهة الإجهادات المصاحبة للهبوط وفروق درجات الحرارة وذلك عن طريق تقسيم الغشاء إلى باكيات Panels مزودة بفواصل لإمتصاص تأثير الحركة.

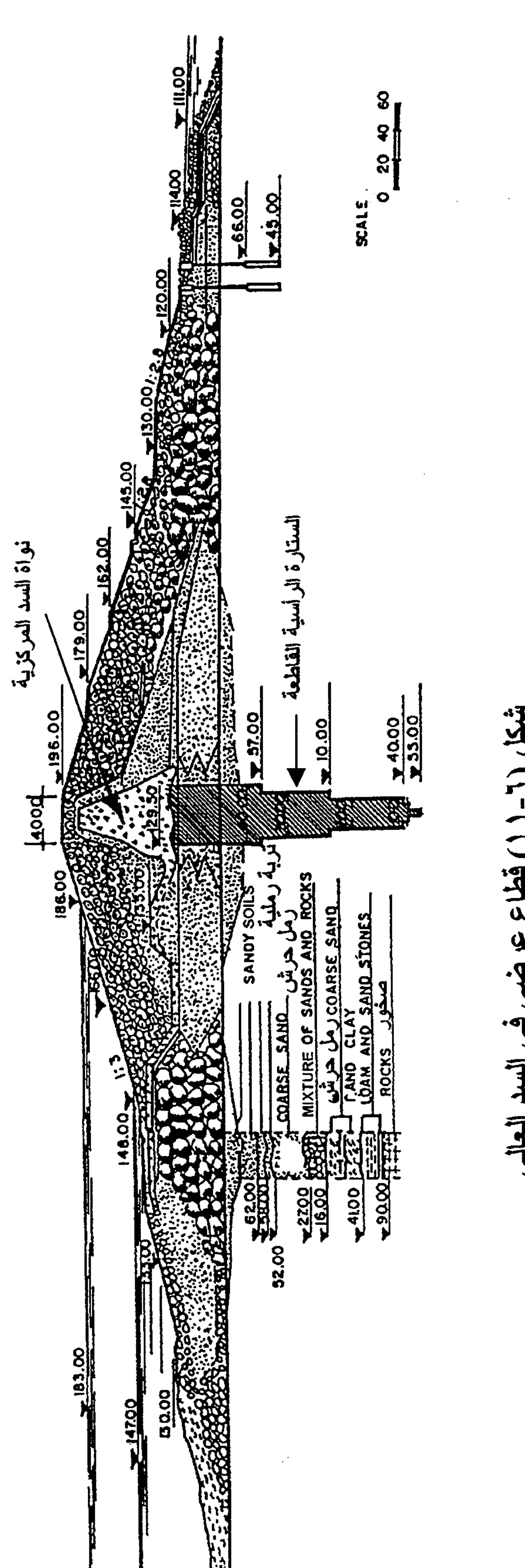
٦-٣-١٠ السد العالى

يعتبر السد العالى أحد أمثلة السدود الركامية الكبيرة فى العالم حيث يتكون أمامه أكبر بحيرات التخزين فى العالم كما ويأتى ترتيبه الثانى فى ترتيب الطاقة وحجم المواد المستخدمة.

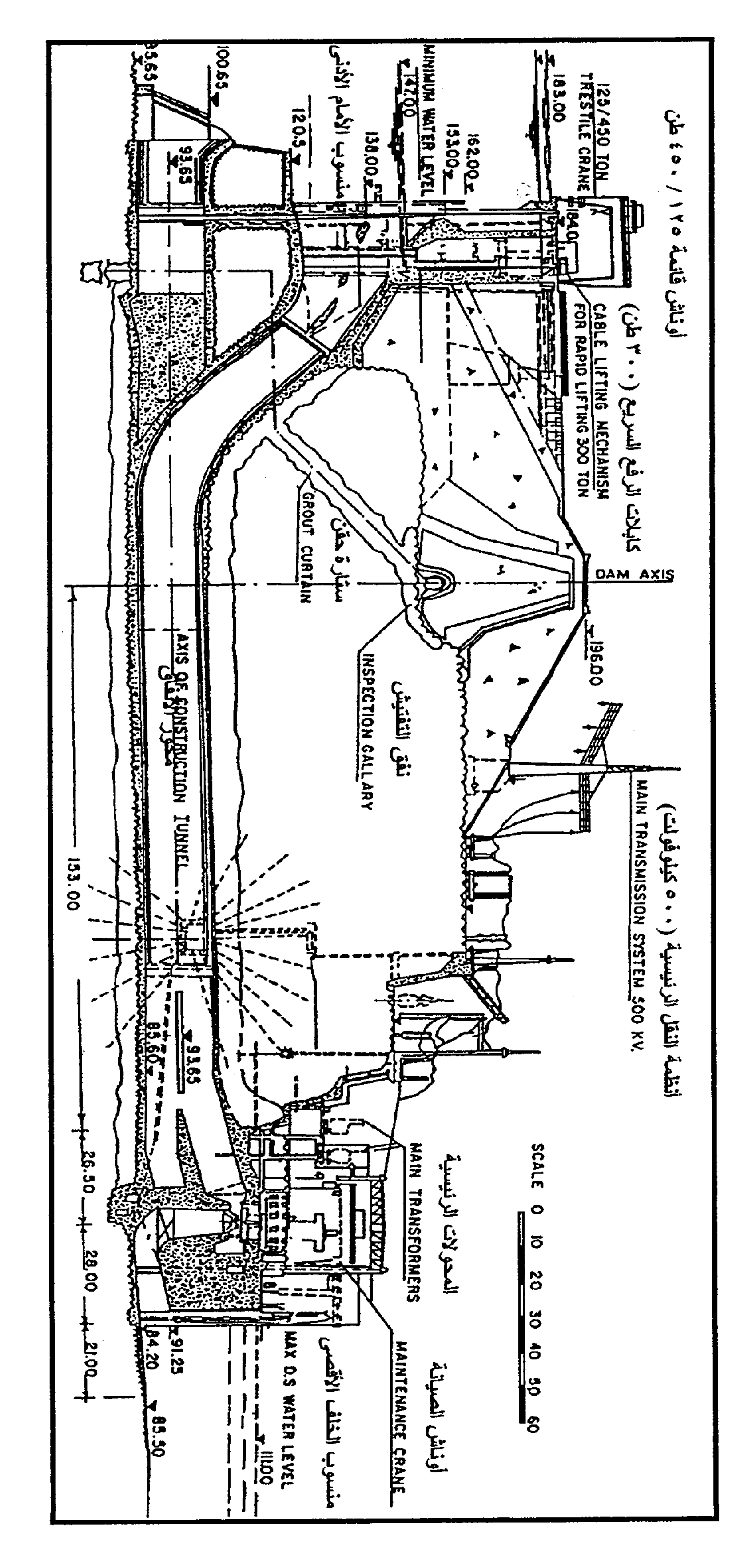
ويوضح الشكل (٦-١٠) المسقط الأفقى للسد العالى مبينا المفيض - الأنفاق - جسم السد بجناحيه الأيمن والأيسر وكذلك محطة توليد الطاقة الكهربية فى حين يوضح الشكل (٦-١١) قطاعا بجسم السد مبينا المواد المختلفة المستخدمة فى الإنشاء وكذلك النواة والستارة. ويوضح الشكل (٦-١٢) الأنفاق المؤدية إلى التربينات وموقع محطة توليد الطاقة بالنسبة لجسم السد.



شكل (٦-١٠) مسقط أفقى للسد العالى



شكل (٦-١١) قطاع عرضى فى السد العالى



شكل (٦-١٢) قطاع طولى فى السد العالى

٦-٤ السدود التثاقلية

٦-٤-١ مقدمة

السد التثاقلى Gravity dam هو سد مصمت من الخرسانة أو المبانى مشكل بحيث يتكفل وزنه بضمان إتزانه ضد تأثير كل القوى المؤثرة عليه ولا يتوقف تصميمه فقط على تقدير أبعاده بل يجب أن يشمل التصميم أنسب الوسائل للتحكم فى المياه المخزونة أمامه فى البحيرة لتفى بالفائدة المرجوة من مشروع التخزين.

ويعرف الإرتفاع الإنشائى للسد بأنه المسافة الرأسية بين قمة السد وأوطى منسوب فى التأسيس (الحفر) أما الإرتفاع الهيدروليكى للسد فهو الفارق بين منسوب قاع المجرى المائى والمنسوب الأعلى للمياه فى بحيرة السد كما هو مبين فى الشكل (٦-١٣) ويعرف حجم السد بحجم الخرسانة أو المبانى المكونة لجسم السد وملحقاته ويستثنى من ذلك خرسانة محطة توليد الكهرباء إن وجدت. ويوضح الشكل (٦-١٤) قطاعا عرضيا فى سد أسوان بعد تعليته الأولى والثانية بإعتباره أكبر السدود التثاقلية فى جمهورية مصر العربية.

٦-٤-٢ تقسيم السدود التثاقلية

يمكن تقسيم السدود التثاقلية حسب إرتفاعها الهيدروليكى إلى الأقسام التالية :

- سدود منخفضة الإرتفاع وهى السدود التى يقل إرتفاعها عن ١٥ متر.
- سدود متوسطة الإرتفاع وهى السدود التى يتراوح إرتفاعها ما بين (١٥ - ٩٠) متر.
- سدود عالية وهى السدود التى يزيد إرتفاعها عن ٩٠ متر.

٦-٤-٣ تحديد قطاع السد

يعتمد تحديد قطاع السد على طريقة التصميم وخبرة المصمم ويتضمن التصميم فروضا مختلفة وتحديدا للقوى المؤثرة على جسم السد وشروط الإتزان ويفترض عادة تجانس طبقة الأساس الصخرى وخرسانة السد ومرونتها فى جميع الإتجاهات فإذا وجدت شروخ فى طبقة الصخر وجب حقنها حتى يكون الأساس متجانسا ومانعا للتسرب.

٦-٤-٣-١ القوى المؤثرة على السد

تشمل القوى الرئيسية المؤثرة على السدود التثاقلية الضغط الهيدروستاتيكى للمياه أمام وخلف السد وضغط المياه المتسربة فى أساس السد Uplift ووزن السد وضغط الطمى والرسوبيات وصدمة الموجة أعلى سطح المياه وقوى الزلازل ورد الفعل عند مستوى الأساس.

٦-٤-٣-٢ شروط الإتزان

يجب أن يقاوم وزن السد القوى المسببة للإنقلاب والإنزلاق عند أى قطاع أفقى فى جسم السد وعدم زيادة الإجهادات عن الإجهاد المسموح به فى التصميم مع عدم السماح بأى إجهاد للشد فى الخرسانة.

٦-٤-٣-٣ التحليل الإنشائى

يفترض فى التحليل الإنشائى مرونة جسم السد وأنه يتكون من عدد من الشرائح الرأسية (كوابيل) المتلاصقة والملتحمة كما أن الفواصل العرضية متداخلة على شكل Keys لتجعل جسم السد كتلة واحدة بالإضافة إلى أن الأساس الصخرى وخرسانة السد تتعامل مع الإجهادات طبقا لنظرية المرونة.

٦-٤-٤ معالجة أساسات السد

يفضل أن تكون طبقة التأسيس من تربة صخرية صلبة قادرة على تحمل الإجهادات تحت جسم السد التثاقلى وقد يتطلب الأمر معالجة طبقة التأسيس كما يأتى :

- يجب حفر وإزالة الطبقة العليا من سطح الصخر المعرضة لعوامل التعرية وغير المرغوب فيها.
- يتم حقن الطبقة السفلى من الصخر إلى أعماق مناسبة لمنع الرشح أسفل جسم السد وذلك لتقليل الدفع الرأسى للضغط الهيدروستاتيكى للمياه المتسربة أسفل قاعدة السد بالإضافة إلى جعل الأساس الصخرى كتلة واحدة.

٦-٤-٤-١ التحكم فى عملية الحفر

يجب أن تتم عملية الحفر بحيث لا يتسبب عنها أضرار لطبقة الصخر السفلى وذلك أثناء حفر الصخور المفككة على السطح وأن يكون الميل الجانبى لجوانب الحفر رأسيا ما أمكن حتى يصل الحفر إلى طبقة صخرية صلبة خالية من عوامل التعرية وخالية من الشقوق.

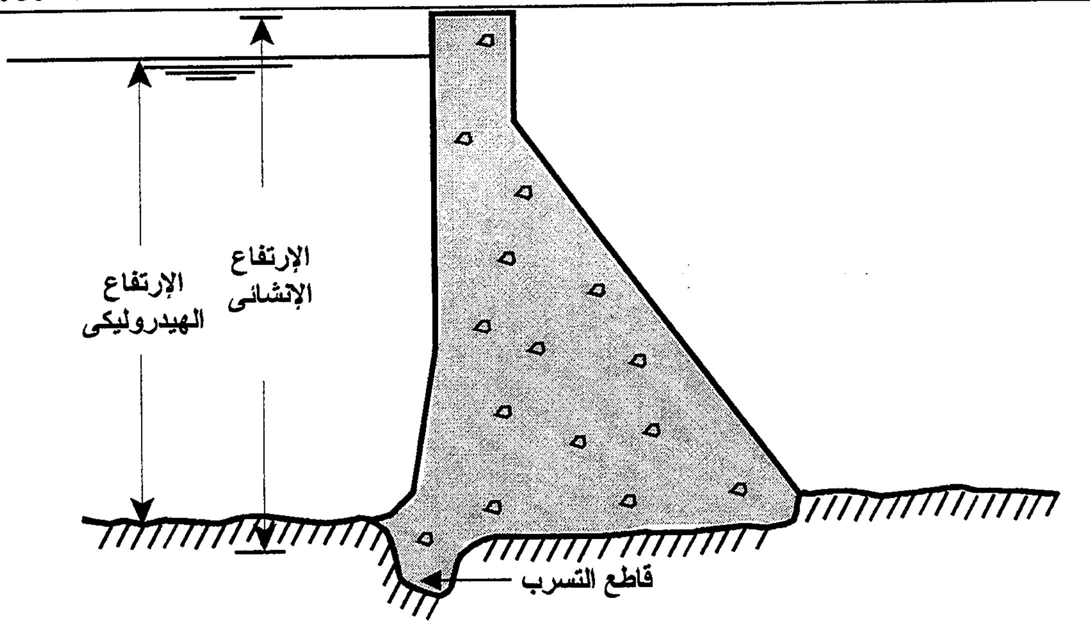
٦-٤-٤-٢ تجهيز سطح الأساس

يجب أن يكون التشكيل الأخير لسطح الصخر متعرجا وبه نتوءات وليس مستويا لزيادة معامل المقاومة ضد الإنزلاق بين سطح الصخر وخرسانة قاعدة السد وقبل صب الخرسانة يجب تنظيف سطح الصخر من بقايا فتات الصخر أو أى مواد غريبة لضمان الترابط بين الصخر والخرسانة ولمنع تسرب المياه من خلال سطح التلامس بين الصخر والخرسانة.

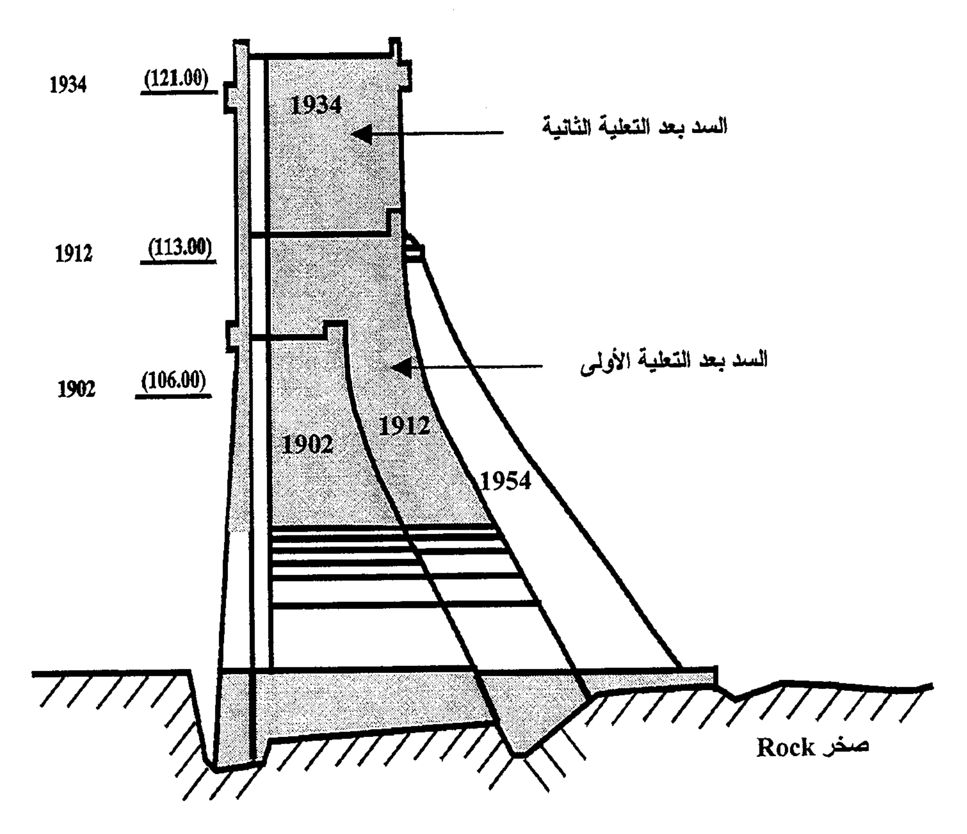
٦-٤-٤-٣ حقن الأساس

يتم تنفيذ عمليات الحقن من أعلى سطح الصخر أو من داخل دهاليز أو سراديب التفتيش داخل جسم السد Galleries وفى بعض الحالات يكون من الضرورى حقن الأساس من مكان أسفل سطح الصخر لضمان عملية التصلب ولهذا الغرض يتم حفر دهاليز رأسية وأنفاق داخل الصخر وموازية لمحور السد وعمق الأنفاق يتوقف على مناطق الصخر التى يوجد بها تشققات أو شروخ وتستخدم هذه الأنفاق بعد ذلك فى المستقبل لإجراء أى عمليات حقن إضافية بعد إتمام بناء السد وبدء عمليات تخزين المياه.

والخطة العامة عند حقن الأساس الصخرى للسد هى البدء أولا بالحقن السطحى للطبقة العليا Shallow grouting الذى يحتاج إلى ضغط منخفض ثم يتبعه بعد ذلك الحقن العميق ذو الضغط العالى للطبقة العميقة Deep grouting . والأخرام السطحية للحقن ذات الضغط المنخفض يرمز لها بالأخرام (ب) والأخرام العميقة يرمز لها بالرمز (أ) والأخرام المكملة حسب الحاجة يرمز لها بالأخرام (ج).



شكل (٦-١٣) إرتفاع السد التثاقلى



شكل (٦-١٤) قطاع عرضى فى سد أسوان بعد التعليتين الأولى والثانية

الحقن ذو الضغط المنخفض

وهو ما يتم تنفيذه فى الطبقة السطحية للصخر حتى تتحول إلى طبقة سطحية متصلدة وإمتلاء جميع الشروخ بها ويجب إجراء هذه العملية قبل صب أى خرسانة على سطح الصخر وتتم هذه العملية بتخريم وحقن الخروم السطحية المسماة بالخروم (ب) وعمق هذه الخروم يعتمد على الظروف الحقلية للموقع وقد

يتم الحقن فى إتجاه ثلاثة خطوط أو أكثر موازية لمحور السد وبين أى خط وأخر مسافة تقدر بستة أمتار تقريبا وكذلك المسافة بين الأخرام حوالى ستة أمتار على الخط الواحد وبالتبادل بين الصفوف وفى أول الأمر يجب أن تكون المسافة بين الأخرام على الخط الواحد كل ١٢ متر ثم تنفذ الأخرام المتوسطة بينها بعد ذلك لتصبح كل ٦ أمتار ومدى إستيعاب الأخرام لمادة الحقن يحدد الإحتياج إلى مزيد من الأخرام الإضافية (ج) من عدمه وتستمر هذه العملية إلى أن يتم التأكد من أن كل الشروخ والتجاويف قد إمتلأت بالكامل وتم حقنها بكفاءة عالية.

وحقن الأخرام (ب) يتم رأسيا فى المساحة القريبة من القدمة الأمامية للسد لتكون قاطعا رأسيا لمنع تسرب مادة الحقن عند عمل الأخرام (أ) ذات الضغط الكبير وقبل الحقن يجب تنظيف الأخرام بواسطة أنابيب يمر بها تيار من الماء تحت ضغط كبير وتصل هذه الأنابيب إلى قاع الأخرام لإزالة أى فتات من الصخر من ناتج الحفر والمواد الغريبة فى الشروخ.

الحقن ذو الضغط العالى

وهو خاص بالأخرام التى يرمز لها بالرمز (أ) وتتم هذه العملية بالقرب من القدمة الأمامية للسد لتكوين الستارة الرأسية لكى تمنع الرشح تحت جسم السد. والأخرام (أ) تتكون من صف من الأخرام المسافة بينها ١,٥ متر ويتم الحقن فيها تحت ضغط كبير مع مراعاة عدم حدوث أى قلقلة لطبقات سطح الصخر وتنفذ هذه الأخرام بعد الإنتهاء من عمل الأخرام (ب) ذات الضغط المنخفض. وفى بعض الحالات قد يتم حقن الأخرام (أ) ذات الضغط الكبير من دهاليز التفتيش وبعد صب جزء من خرسانة جسم السد مع مراعاة ما يأتى :

- يجب أن تكون الأخرام فى الإتجاه الرأسى وقرب القدمة الأمامية للسد وإذا كان حفرها وحقنها من دهاليز التفتيش يمكن أن تميل الأخرام حتى °١٥ نحو الأمام أو أن تكون الأخرام رأسية إذا كان دهليز التفتيش قريبا من السطح الأمامى للسد.
- إذا كان تنفيذ أخرام الحقن كل ٢ متر مثلا يجب حفر الأخرام أولا كل ٨ متر ثم حقنها وبعد ذلك يتم حفر الأخرام كل ٤ متر ثم حقنها وبعد ذلك يتم حفر الأخرام بينها فتصبح المسافة بين الأخرام كل ٢ متر.
- عمق الأخرام يتوقف على طبيعة الصخر فى الموقع.

٦-٤-٥ الصرف من أساسات السد

على الرغم من أن برنامج الحقن الجيد يؤدى إلى قلة الرشح الجوفى إلا أنه يجب توفر وسيلة إضافية لمواجهة أى مياه قد تتسرب من خلال أو حول الستارة الرأسية لأن عدم التخلص من مياه الرشح يؤدى إلى تولد ضغط هيدروستاتيكى على قاعدة السد.

تتم عملية الصرف بحفر خط أو أكثر من الأخرام الرأسية خلف الستارة الرأسية مباشرة وتتوقف المسافات بين الأخرام وأقطارها وأعماقها على الظروف الطبيعية لطبقة الصخر وحالة عمليات الحقن وعادة ما يكون قطر الأخرام ١٠ سم والمسافات البينية لها ١,٥ متر وتتراوح أعماقها بين ٢٠ % إلى ٤٠ % من أقصى عمق للمياه أمام السد. ويتم تنفيذ هذه الأخرام بعد الإنتهاء من عمليات الحقن كما يتم حفرها من دهاليز التفتيش من ناحية الأمام وإذا لم يزود السد بدهاليز تفتيش يتم حفر أخرام الصرف من سطح أحد حطات الخرسانة أثناء بناء السد ومن خلال أنابيب يكون قد تم وضعها فى الخرسانة وبعد حفر ثقوب الصرف يتم تجميع أعالى الأنابيب فى أنبوبة مجمعة بوصلات على شكل حرف T لتوصيل الصرف من الأنابيب الرأسية وصرفها للخارج.

٦-٤-٦ الدهاليز الداخلية

الدهليز الداخلى هو عبارة عن تجويف داخل جسم السد وفى الإتجاه الطولى أو العرضى وقد يكون أفقيا أو مائلا. وموقع وشكل الممر يتوقف على الغرض المنشأ من أجله.

دهليز الأساس Foundation Gallery

وهو الدهليز الداخلى الممتد موازيا لمحور السد وبالقرب من الأساس الصخرى والهدف منه حفر الأخرام وتنفيذ عمليات الحقن وعمل الستارة الرأسية كما يتم منه حفر الأخرام الخاصة بصرف المياه التى تتسرب بعد ذلك فى أساسات السد ويجب أن تكون أرضية الممر أعلى من سطح الصخر بما لا يقل عن ١,٥ متر وداخل خرسانة السد وعلى بعد ٦ أمتار على الأقل من الوجه الأمامى للسد أو ١٠ % من أكبر عمق للمياه أمام السد.

دهليز الصرف Drainage Gallery

ويبعد هذا الممر عن الوجه الأمامى للسد بمسافة تعادل ثلثى عرض قاعدة السد.

دهليز البوابات وغرفها Gate Gallery

وهو الفراغ اللازم لإحتواء الأعمال الميكانيكية اللازمة لتشغيل البوابات على ممرات تصريف المياه أو التغذية لمحطة الكهرباء أو بوابات المفيض.

دهليز الحقن Grouting Gallery

من المعروف عدم إمكانية إجراء عمليات حقن فواصل الإنكماش من الوجه الأمامى للسد ولذلك فإن شبكة مواسير الحقن تخرج وتعود من الدهاليز وعند كل حطة تقدر بإرتفاع ١٥ متر من الخرسانة وكذلك يتم من الدهاليز تجهيز شبكة التبريد الصناعى للبلوكات الخرسانية المكونة لجسم السد.

دهليز التفتيش Inspection Gallery

وهو الممر داخل جسم السد الذى يتم من داخله عمليات المراقبة والمتابعة للسلوك الإنشائى للسد بعد بنائه مع العلم بأن كل الدهاليز المذكورة سابقا ممكن أن تؤدى نفس الغرض لعمليات المتابعة والمراقبة.

ويؤثر فراغ الدهاليز الداخلية فى جسم السد على توزيع الإجهادات وتركيزها فى المناطق المحيطة بفراغ الدهاليز مما يتطلب تزويدها بحديد التسليح حول الفتحات مع ملاحظة أن شبك حديد التسليح يحتاج إلى غطاء خرسانى فى حدود ١٥ سم على الأقل من سطوح الدهاليز.

٦-٤-٧ التحكم فى درجة حرارة الخرسانة

تحدث تغيرات حجمية فى الخرسانة عندما تنخفض درجة حرارتها بعد صبها بأيام ويؤدى ذلك لحدوث إجهادات شد نتيجة إنكماش حجم الخرسانة وحدوث شروخ فى جميع الإتجاهات. ومن الضرورى ضبط درجة حرارة الخرسانة لمنع هذه الشروخ ويتم ذلك بالتخلص من الحرارة الزائدة كى لا تحبس داخل الخرسانة بعد صبها.

٦-٤-٧-١ العوامل التى تؤثر فى درجة حرارة الخرسانة

الأحوال الجوية

تتوقف درجة حرارة الخرسانة على الظروف الجوية المحيطة ومن الضرورى دراسة وتقييم حالة الجو السائدة لتحديد طرق المعالجة المثلى وتعريض سطح الحطة الخرسانية لفترة كافية قبل صب الحطة التى تعلوها منعا لحبس الحرارة فى الخرسانة.

التفاعلات الكيميائية

ينتج عن عملية هدرجة الأسمنت زيادة فى درجة حرارة الخرسانة وكلما زادت نسبة الأسمنت ودرجة نعومته زادت كمية الحرارة المتولدة وإرتفعت درجة حرارة الخرسانة.

متطلبات التصميم والإنشاء

يتطلب التصميم تزويد السد بفواصل الإنكماش ومعدات التبريد الإضافى أثناء الإنشاء بالإضافة إلى تحديد حجم وشكل القطاع وسمك الحطات الخرسانية والزمن اللازم بين الحطات وتوقيت صب الخرسانة. وتجدر الإشارة إلى العوامل الأساسية التالية المرتبطة ببرنامج التنفيذ.

سمك الحطة (البلوك) Lift Thickness

يؤدى إنقاص سمك الحطة إلى تقليل إرتفاع حرارة الخرسانة وزيادة طردها من سطح الحطة فالسمك المناسب للبلوك هو ١,٥ متر والزمن اللازم بين الحطات يجب ألا يقل عن ثلاثة أيام والتخلص من الحرارة الزائدة فى السدود الكبيرة يتم من سطوح الحطات أثناء الإنشاء ولا تفقد أى حرارة بعد تغطية سطوح الحطات.

ضوابط فصولية Seasonal Limitations

تمتد فترة إنشاء السدود الكبيرة إلى فصول كثيرة ولذلك يفضل أن يكون صب الخرسانة فى الفصول ذات أقل درجة حرارة مع ضمان عدم التجمد ولا يفضل صب الخرسانة فى الجو الحار وإذا كان من الضرورى صب الخرسانة فى الجو الحار يمكن أن يسبق الصب تبريد الركام وكذلك تبريد مياه الخلط أو صب حطات أقل سمكا مع زيادة الفترة الزمنية بين كل حطة وأخرى.

تأثير الأساس Foundation Effect

للحصول على نتائج طيبة لتفاعل الخرسانة مع سطح الأساس يجب أن تكون درجة حرارة الخرسانة عند صبها تقل عن درجة حرارة الأساس الصخرى.

٦-٤-٧-٢ التبريد الإضافى

يمكن التحكم فى درجة حرارة الخرسانة فى السدود الكبيرة بإستعمال التبريد الإضافى وذلك بدفن شبكة من المواسير داخل الخرسانة يمر بها تيار من المياه الباردة. ويجب أن يكون التبريد تدريجيا ومنتظما ولا يسبب إختلافات كبيرة بين درجة الحرارة داخل جسم السد وحرارة الجو الخارجية كى لا تحدث شروخ فى أسطح بلوكات الخرسانة. ويتم تشغيل شبكة مواسير التبريد من السطح الخارجى للسد أو عن طريق الدهاليز الداخلية.

وتتكون شبكة التبريد من ملفات المواسير المزودة برؤوس لدخول وخروج تيار المياه الباردة ويتكون كل ملف من مواسير معدنية قطرها الخارجى فى حدود واحد بوصة (٢,٥ سم) وبطول قد يصل إلى ٣٥٠

متر ويوضع الملف على سطح كل حطة من الخرسانة ذات سمك ١,٥ متر وتتراوح المسافة بين خطوط المواسير ما بين (٠,٥٠ - ١,٥٠) متر ولا تقل سرعة المياه الباردة داخل المواسير عن ٠,٦٠ متر/ثانية.

ويمكن التحكم فى مياه التبريد بالمراقبة المستمرة لدرجة حرارة الخرسانة بواسطة الثيرمومترات المدفونة فى الخرسانة أو الموضوعة داخل مواسير التبريد فى المواقع التى تعطى القيم الممثلة لدرجة حرارة الخرسانة. وعندما تتحرك مياه التبريد فى إتجاه واحد بإستمرار تكون درجة الحرارة عند مدخل شبكة المواسير أكثر برودة عن درجة الحرارة عند المخرج ولذلك يجب أن تسمح توصيلة المدخل والمخرج بتغيير حركة مياه التبريد بالتبادل فيصبح المدخل مخرجا والمخرج مدخلا لتنظيم عملية التبريد. ويساعد ذلك فى نفس الوقت على منع إنسداد المواسير حتى لو كانت مياه التبريد تحتوى على كمية من الطمى.

٦-٤-٨ فواصل الإنشاء والإنكماش

لتقليل حدوث الشروخ فى جسم السد تنشأ فواصل إنكماش عرضية وطولية ولذلك يتم إنشاء السد بصبه فى صورة مجموعة من الكتل الخرسانية بحيث أن كل كتلة تصبح حرة عندما يحدث تغير فى حجمها وبدون أى مقاومة من الكتل المجاورة لها وبعد إستقرار حجمها بعد فترة يمكن حقن هذه الفواصل حتى تصير كلها كتلة واحدة صلبة من الخرسانة كما هو وارد فى التصميم. وتكون أسطح هذه الفواصل رأسية والفواصل العرضية عمودية على محور السد ومستمرة من الوجه الأمامى للسد حتى الوجه الخلفى كما هو مبين بالشكل رقم (٦-١٥) بينما تكون أسطح الفواصل الطولية موازية لمحور السد ومرحلة بالتبادل عند تلاقيها مع الفواصل العرضية لتكون كتلا رأسية تبادلية مع مراعاة ما يأتى :

تنظيف السطح

لكى يمكن بناء سد محكم ضد تسرب المياه يجب أن يكون جسم السد وحدة واحدة وهذا يتوقف على نجاح عملية تنظيف أسطح الحطات الخرسانية والترابط الجيد بين الخرسانة حديثة الصب مع الخرسانة السابق صبها عند فواصل الإنشاء الأفقية ولذلك يجب تنظيف سطح الحطة السابقة تنظيفا جيدا للتخلص من أى مواد غريبة عن طريق غسلها بتيار من الماء والرمال وبعد صرف المياه وقبل صب الحطة الجديدة توضع طبقة من خلطة المونة الغنية بالأسمنت وتفرش على سطح الحطة القديمة.

صب الخرسانة

يجب أن تتم عملية صب الخرسانة بطريقة منظمة تتمشى مع متطلبات التحكم فى درجة حرارتها حيث أن كل حطة فى الكتلة الواحدة تكون بسمك ١,٥ متر وبفاصل زمنى لا يقل عن ثلاثة أيام بين كل حطة وأخرى وأكبر مسافة رأسية بين أى بلوكين متجاورين وفى صفين مختلفين لا تزيد عن ٩ متر. ولذلك يجب أن ينظم برنامج صب الخرسانة أثناء عملية الإنشاء على أساس حفظ منسوب ثابت نسبيا بالنسبة لسطوح البلوكات المتجاورة.

التنوع فى خلطات الخرسانة

قد تتطلب الظروف إنتاج وإستخراج خرسانة عالية الجودة لصبها فى السطح الأمامى للسد أو لسطح المفيض.

ويراعى عند إنشاء فواصل الإنكماش العرضية أن تكون عمودية على محور السد وأن تكون مستمرة بكامل عرض وإرتفاع السد وتؤخذ العوامل التالية فى تحديد المسافات البينية لفواصل الإنكماش العرضية.

- مشاكل الأساس والتغير فى نوع الصخور.
- المنشآت الملحقة مثل مخارج المياه وبوابات المفيض وبغال الكبارى تتحكم فى إختيار أماكن الفواصل والمسافات بينها.
- التحكم فى درجات الحرارة فإذا كانت الفواصل متباعدة أكثر من اللازم ستزيد الإجهادات الناتجة من الإنكماش وبالتالى الشروخ فى البلوكات الخرسانية.
- قدرة خلاطات الخرسانة إذ تتحدد المسافة بين فواصل الإنكماش على القدرة السعوية للخلاط التى تصب فى الحطة الواحدة لتكون الخرسانة لينة.

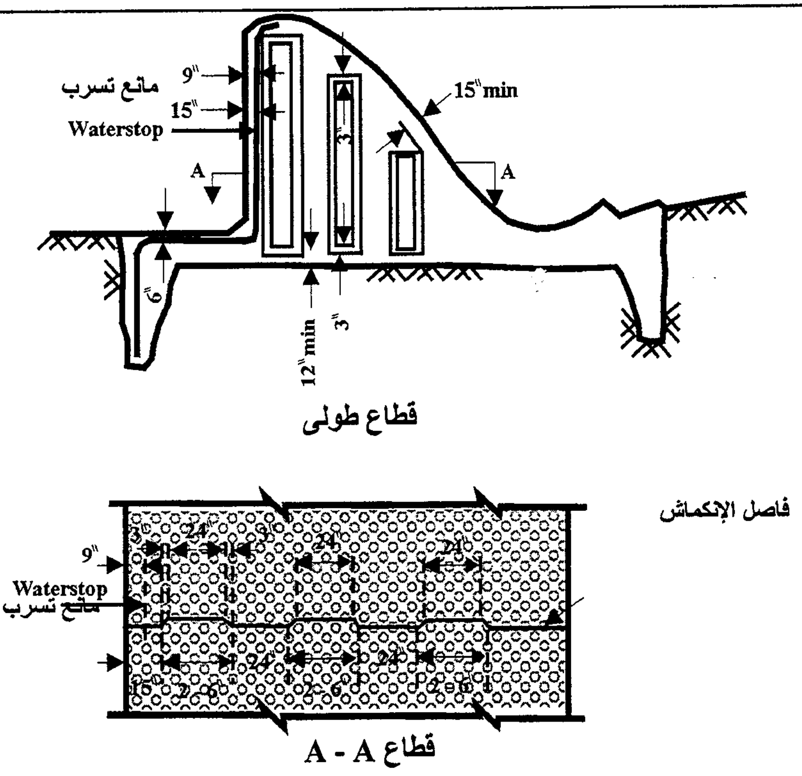
وينبغى أيضا تداخل فواصل الإنكماش العرضية رأسيا Vertical keys كما هو مبين بالشكل (٦-١٥) إذ أن تعرج الفواصل يحقق هدفين الأول يرتبط بتقليل تسرب المياه من خلال الفواصل والثانى يرتبط بزيادة قوى مقاومة القص عند أسطح الفواصل وتعتبر هذه المزايا مهمة فى السدود الصغيرة التى لا يتم فيها حقن الفواصل.

٦-٤-٨-١ حقن الفواصل

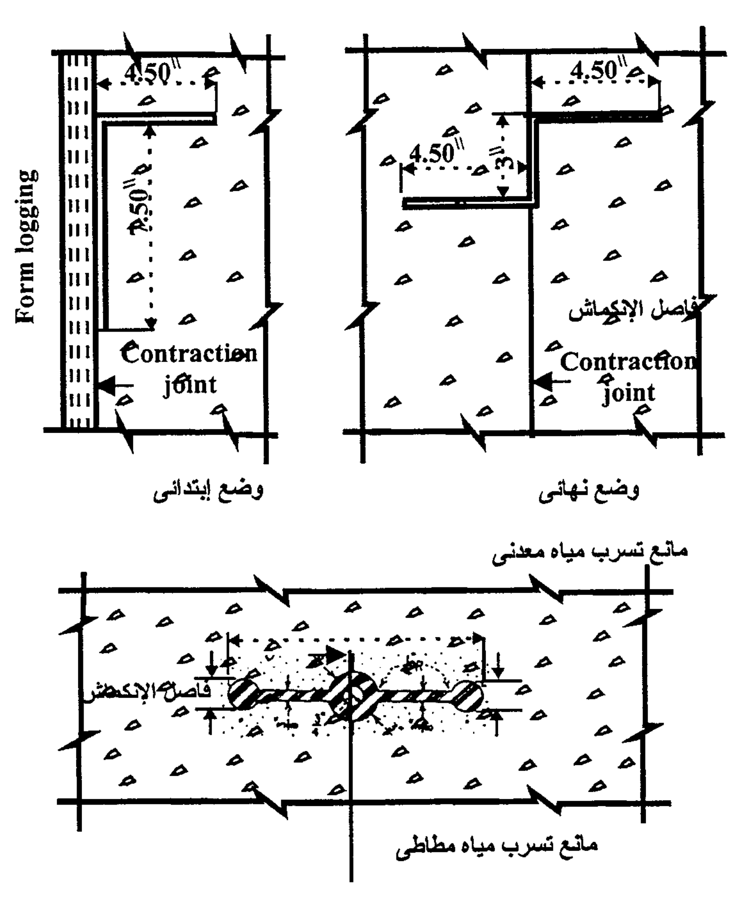
الهدف من حقن الفواصل هو ترابط البلوكات الخرسانية ببعضها حتى يعمل المنشأ كوحدة واحدة وحتى يتحقق هذا الهدف يتم ضغط خلطة الحقن المكونة من الأسمنت والمياه داخل الفاصل وبعد تصلب الخلطة تتكون طبقة قوية من الأسمنت ملتصقة مع البلوكين المتجاورين ويتم إدخال معجون الحقن عن طريق شبكة المواسير المدفونة والتى تتراوح أقطارها ما بين نصف وواحد بوصة.

٦-٤-٨-٢ موانع التسرب

يصحب عادة إنكماش البلوكات إتساع فى فواصل الإنكماش مما يؤدى إلى تسرب المياه إذا لم تكن الفواصل مزودة بموانع Seals وتتكون هذه الموانع من شرائح معدنية أو المطاط أو الأسفلت وتوضع هذه الفواصل بالقرب من السطح الأمامى للسد كما أن الموانع مطلوبة لتحصر خلطة الحقن كما هو مبين فى الشكل (٦-١٦) والذى يبين الموانع النموذجية التى تستعمل فى غلق فواصل الإنكماش.



شكل (٦-١٥) فواصل إنكماش عرضية معرجة



شكل (٦-١٦) موانع تسرب فى فواصل الإنكماش

٦-٤-٩ المفيضات وأعمال المخارج والمنشآت الملحقة

بالإضافة إلى جسم السد وأساسه تحتاج مشروعات السدود إلى الإهتمام بأعمال التحكم فى تصريف المياه الخارجة من بحيرة السد حسب الإحتياجات المائية أو تحت ظروف الفيضانات العالية بدون حدوث أضرار للسد وملحقاته.

٦-٤-٩-١ المفيضات وأحواض التهدئة

يمكن الرجوع إلى الباب الثالث الخاص بالمفيضات للتعرف على أنواعها المختلفة وإعتبارات التصميم ولعل أكثر أنواع المفيضات إستعمالا مع السدود التثاقلية المفيض من الطراز أوجي وقد لا توجد بوابات أعلى عتب المفيض وفى هذه الحالة يتم تصريف المياه بطريقة تلقائية عندما يعلو منسوب المياه فى البحيرة عن منسوب عتب المفيض. ويمكن تزويد المفيض ببوابات للتحكم فى تصريف المياه عندما يعلو منسوبها عن منسوب عتب المفيض. ولتبديد الطاقة الهائلة من المياه المتساقطة فوق المفيض قبل وصولها إلى قاع النهر خلف السد تبنى أحواض التهدئة وتزود بالبلوكات الخرسانية والأعتاب المناسبة لضمان تكوين القفزة الهيدروليكية فوق فرش حوض التهدئة وخفض سرعة المياه خلف السد لتكون فى حدود ما يتحمله قاع النهر دون حدوث نحر.

٦-٤-٩-٢ أعمال المخارج

وهى المنشآت والأجهزة والتركيبات المطلوبة للتحكم فى تصريف المياه الخارجة من بحيرة السد حسب الإحتياجات المائية. وهذه المخارج تتحكم فى تنظيم التصرف فى النهر ومنسوب سطح بحيرة السد كما تشمل مخارج المياه المؤدية إلى محطة توليد الكهرباء. ويتوقف تصميم هذه المخارج على مقدار التصرف المطلوب خروجه وقد تمر المياه من فتحات فى جسم السد أو من خلال أنفاق فى جوانب السد ولما كانت سرعة المياه الخارجة عالية فيجب مواجهتها ببناء أحواض تهدئة حتى تكون سرعة المياه فى حدود آمنة مع الإستعانة بنتائج الدراسات المعملية على نموذج للسد.

٦-٤-٩-٣ المنشآت الملحقة

تشمل المنشآت الملحقة للسدود الأعمال التالية :

الأبراج

وهى الأبنية المقامة على قمة السد لتغطية المدخل المؤدى إلى المصعد الكهربائى الذى يربط بين قمة السد والدهاليز الداخلية وأماكن إحتواء أجهزة التشغيل الداخلية.

الكبارى المقامة فوق المفيض

يحتاج الطريق المقام فوق السد إلى إنشاء كوبرى عند إستمراره فوق المفيض ويتمشى عرض الكوبرى مع عرض الطريق ويتبع تصميم الكوبرى نفس المواصفات العامة للكبارى.

أعمال الخدمات

وهى الأعمال التى تختص بالأجهزة وجميع الملحقات الخاصة بتشغيل المعدات الميكانيكية والكهربائية للسد أو محطة توليد الكهرباء أو البوابات أو طلمبات الصرف أو المصاعد الكهربائية أو الأوناش أو أجهزة الإنارة.

٦-٥ السدود العقدية Arch Dams

٦-٥-١ مقدمة

يكون السد العقدى منحنيا فى المسقط الأفقى وينقل معظم أحمال المياه أفقيا إلى الأكتاف Abutments عن طريق التأثير العقدى Arch action . ولمواجهة قوة الدفع المتولدة من ضغط المياه فإنه يجب أن تكون الحوائط الجانبية للوادى أو الأخدود قوية وقادرة على مقاومة قوى الدفع. ومعظم السدود العقدية التى تم إنشائها فى القرن الأخير كانت من الخرسانة ويعطى الجدول (٦-١) أبعادا لبعض السدود العقدية فى دول مختلفة. ويكون قطاع الوادى مناسبا لإقامة سد عقدى إذا كانت نسبة طول السد عند القمة إلى أقصى إرتفاع للسد لا تزيد عن ٥ .

ويعد التحليل الإنشائى للسدود العقدية معقدا ويفترض أن السد العقدى يتكون من العقود الأفقية والتى تنقل قوى الدفع إلى الأكتاف ومجموعة من الكوابيل الرأسية المثبتة فى الأساسات كما هو موضح فى الشكل (٦-١٧). ويجب مقاومة المركبة الأفقية لحمل المياه بواسطة التأثير المشترك للقوس والكابولى Arch cantilever action ، وعادة ما يتم تحديد توزيع الأحمال بين العقود والكوابيل بطريقة محاولات الأحمال Trial-load method والتى تبدأ بفرض توزيع الأحمال كما يلى :

- معظم الأحمال بالقرب من قاع السد تقاوم بواسطة الكوابيل.
- معظم الأحمال بالقرب من قمة السد تقاوم بواسطة العقود.

بعد إفتراض توزيع الأحمال فإنه يجب حساب الترخيم للعقود والكوابيل ويكون الفرض سليما فى حالة ما يكون ترخيم العقد عند أى نقطة مساويا لترخيم الكابولى عند نفس النقطة ، وفى حالة عدم التساوى يجب إعادة توزيع الأحمال حتى نجد التوزيع المناسب الذى يعطى ترخيماً متساوياً للعقد والكابولى عند كل النقط ، وبعد ذلك تحسب الإجهادات فى السد والأساسات على أساس توزيع الأحمال المفترض.

جدول (٦-١) أبعاد بعض السدود العقدية

إسم السد	البلد أو الولاية	الإرتفاع (متر)	الطول (متر)	عرض السد عند القمة (متر)	عرض السد عند القاعدة (متر)	حجم السد (١٠٠٠ متر مكعب)	نصف قطر العقد	سعة التخزين (متر^{3})	سنة إتمام السد
Contra	Switzerland	230	380	....	......	660	......	8.65×10^{7}	1965
Hoover	(Ariz-Nev.)	222	380	13.7	202	2485	Constant	3.84×10^{10}	1936
Glen Canyon	(Ariz.)	214	473	7.6	104	3700	Constant	3.46×10^{10}	1962
Kurobegawa No. 4	Japan	186	490	....	....	1365	....	2.00×10^{8}	1964
Tignes	France	181	376	....	......	635	Constant	2.30×10^{8}	1952
Vidraru	Romania	166	305	....	......	500	Constant	4.52×10^{8}	1965
Hungry Horse	(Mont.)	159	645	11.9	101	2220	Variable	4.32×10^{9}	1952
Bhumiphol	Thailand	154	486	....	......	1000	....	1.22×10^{9}	1964
Morrow Point	(Colo.)	143	230	3.7	16	275	Variable	1.44×10^{8}	1968
Owyhee	(Oreg.)	127	254	9.2	81	373	Constant	1.38×10^{9}	1932
Pacoima	(Calif.)	114	195	3.1	30	172	Variable	7.40×10^{6}	1928
Arrowrock	(Idaho)	107	350	4.9	68	442	Constant	3.52×10^{8}	1915
Morse Mesa	(Ariz.)	93	239	2.4	13	112	Variable	3.02×10^{8}	1927
Seminoe	(Wyo.)	90	162	5.2	27	132	Constant	1.27×10^{9}	1939
Cachi	Costa Rica	87	70	....	.....	25	......	5.30×10^{7}	1966
Shannon	(Wash.)	80	151	6.1	41	101	Constant	1.63×10^{8}	1926
Calderwood	(Tenn.)	70	248	7.6	15	305	Variable	4.20×10^{7}	1930

٦-٥-٢ أنواع السدود العقدية

يمكن تصنيف السدود العقدية على الأسس التالية :

أولا السمك Thickness

- سد عقدى رفيع.
- سد عقدى سميك.
- سد عقدى ثابت القطاع.
- سد عقدى متغير القطاع.

ثانيا التماثل بالنسبة لقطاع السد عند القمة Symmetry

- سد عقدى متماثل.
- سد عقدى غير متماثل.

ثالثا خواص المنحنيات الخارجية والداخلية

Characteristics of Extrados and Intrados Curves

- سد عقدى مفرد.
- سد عقدى مركب.
- سد عقدى ذو نصف قطر ثابت.
- سد عقدى ذو نصف قطر متغير.

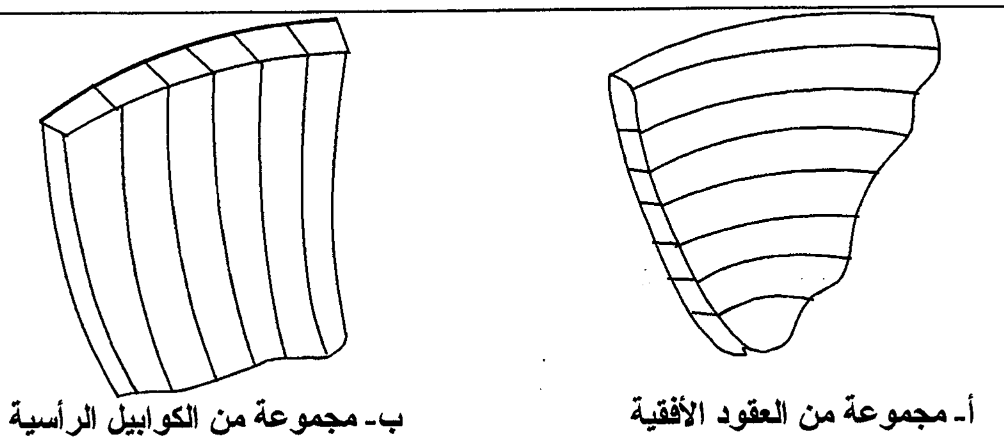
ويمكن توضيح أهم هذه الأنواع كالأتى :

٦-٥-٢-١ سدود ذات نصف قطر ثابت

يمثل السد العقدى ذو نصف القطر الثابت Constant radius dam أبسط الأشكال الهندسية إذ يعطى سطحا رأسيا ثابت القطر من جهة الأمام وسطحا منتظم الميل من جهة الخلف كما هو موضح بالشكل (٦-١٨) أ ورغم أن هذا النوع من السدود العقدية ليس الأكثر كفاءة من حيث حجم السد إلا أنه يتميز بالبساطة النسبية فى التحليل الإنشائى ومن جهة التنفيذ ويفضل إنشاء السدود العقدية ذات أنصاف الأقطار الثابتة فى حالة الأودية على شكل (U) حيث أن الجزء الأكبر من حمل المياه عند المناسيب المنخفضة ينقل بتأثير الكوابيل.

٦-٥-٢-٢ سدود ذات نصف قطر متغير

يعرف السد العقدى ذو نصف القطر المتغير Variable radius dam بالسد العقدى ذى الزاوية الثابتة وعادة ما يكون له منحنيات داخلية وخارجية ذات أنصاف أقطار متدرجة ومتناقصة كلما زاد العمق أسفل القمة وذلك لحفظ الزاوية المركزية كبيرة وثابتة كلما أمكن لضمان أكبر كفاءة للعقد على جميع المناسيب. ويعطى هذا النوع من تشكيل السدود العقدية تعليقا لجسم السد Overhang كلما إقتربنا من جهة الأكتاف كما هو موضح فى الشكل (٦-١٨)ب ويجب دراسة إتزان السد أثناء عمليات الإنشاء وعندما يكون الخزان جافا. وللتغلب على مشاكل ظاهرة التعليق المشار إليها يمكن سند جسم السد بدعامات قرب الأكتاف أو تعديل قيم الزاوية المركزية ويناسب هذا النوع من السدود الأودية حادة الجوانب على شكل حرف (V).



شكل (٦-١٧) المكونات الإنشائية للسدود العقدية

أ- سد عقدى ذو نصف قطر ثابت

قمة العقد

Plan

مسقط أفقى

Crown section

قطاع على محور التماثل

ب- سد عقدى ذو نصف قطر متغير

قمة العقد

Prop

قطاع أ-أ

مسقط أفقى

قطاع على محور التماثل

شكل (٦-١٨) التشكيل الهندسى لسدود عقدية ذات خواص منحنيات مختلفة

٦-٥-٣ نظرية السدود العقدية

يرتـبط تحلـيل الإجهـادات فـى السـد العقـدى بالمـبادئ الرياضـية وقوانيـن الميكانـيكا ونظـريات المـرونة Theory of elasticity ويمكن تلخيص الفكرة الأساسية لتصميم هذا النوع من السدود كالتالى :

٦-٥-٣-١ تأثير القوس بمفرده

صممت كثير من السدود العقدية بالنظرية التى تفترض أن كل ضغط المياه ينتقل أفقيا إلى الأكتاف بتأثير القوس Arch action وأن أوزان الأحمال الميتة بالإضافة إلى الوزن الرأسى للمياه فى حالة ميول الوجه الأمامى سوف ينتقل رأسيا إلى الأساسات عن طريق تأثير الكابولى بمفرده. ويمكن تحديد سمك القوس فى بداية التصميمات بالمعادلة الآتية :

$$t = \frac{RP}{f} \tag{6-2}$$

حيث

t = سمك القوس

P = ضغط المياه

R = نصف قطر الوجه الأمامى

f = إجهادات الخرسانة المسموح بها

وفى بعض الحالات يمكن حساب سمك القوس بواسطة تحليل الأقواس المرنة إذ أن إهمال تأثير الكابولى من الإعتبار عند تصميم السدود العقدية يعتبر غير مقبول حيث أن الكوابيل الرأسية تجعل السد ثابتاً على الأساسات. ويجب أن يحدث ترخيم فى الكوابيل لكى تنطبق مواقع ترخيمها مع مواقع ترخيم الأقواس. وكلما زاد إنحناء الكوابيل عن طريق نقل أحمال المياه خلال عناصر الكوابيل فقط إلى الأساسات ، فإن النظرية التى تقول أن أحمال المياه الداخلية تنقل أفقيا إلى الأكتاف بتأثير القوس تكون غير صحيحة.

٦-٥-٣-٢ تأثير القوس والكابولى

نظرية تصميم السد العقدى الأكثر قبولا والمرضية هى التى تعتبر حمل المياه الأفقى يقسم بين الأقواس والكوابيل Arch and cantilever action بحيث يكون الترخيم للأقواس والكوابيل متساويا عند جميع نقط تقاطع كل أجزاء المنشأ ، ويتم تحديد توزيع الحمل المطلوب لتحقيق هذا الغرض بالمحاولة حيث يمكن إستخدام طريقة محاولات الأحمال Trial load method وعندما تكون التراخيم مناسبة فإنه يمكن حساب إجهادات القوس والكابولى وإعتبارها الإجهادات الحقيقية فى السد.

يعمل التحليل الأولى عادة على الأساس النظرى بأن كل عنصر يتحرك فى إتجاه شعاعى Radial direction بدون معوقات من العناصر المجاورة وبدون أن يتعرض إلى تشكيلات مماسية أو إلتوائية Tangential or twisting deformation ويفترض أن عناصر الكابولى مثبتة بالأساسات وعناصر القوس مثبتة بالأكتاف وحيث أن السد منحنى فإن عناصر الكابولى تعتبر شرائح رأسية Vertical slices ملفوفة حول المستويات الشعاعية الرأسية Vertical radial planes وعناصر القوس تعتبر شرائح أفقية Horizontal slices ذات سمك ثابت من الكتف إلى الكتف ، ويجب أخذ الإفتراضات الآتية فى الإعتبار عند تصميم السدود العقدية :

- صخور كل من الأساسات والأكتاف متجانسة ذات خواص ميكانيكية واحدة ومنتظمة المرونة.
- خرسانة جسم السد متجانسة ومنتظمة المرونة.
- الإجهادات المتولدة تقع فى نطاق حد المرونة وقانون هوك.
- معدل التغير فى الإجهادات فى حدود سمك السد فى صورة خطية.
- تظل القطاعات المستوية قبل التحميل مستوية بعد التحميل.
- تتغير الحرارة فى داخل سمك القوس لكنها ثابتة فى كل عنصر.
- الإجهادات والإنفعالات المتولدة نتيجة الحرارة تتناسب مع التغييرات الحرارية.
- تنقل جميع الأحمال بواسطة إجهادات الضغط والقص فقط وإجهادات الشد غير مسموح بها.

- يجب حقن فواصل لإنشاء القطرية بحيث يعمل السد كوحدة متجانسة ويستكمل الإنكماش الرأسى قبل حقن الفواصل بحيث يضمن عدم نقل الأحمال جانبيا بواسطة الأقواس الرأسية.

٦-٥-٤ الأحمال على السد العقدى

الأحمال على السدود العقدية هى نفس الأحمال على السدود التثاقلية ما عدا الإجهادات والترخيم المتولد من الحرارة التى يجب أن تؤخذ فى الإعتبار فى السدود العقدية بينما تهمل فى السدود المستقيمة.

الأحمال الميتة فى السدود العقدية هى الأوزان الناتجة عن الخرسانة والبوابات والأوناش والمنشآت والمعدات الأخرى بينما الأحمال الحية هى ضغط مياه بحيرة التخزين وتؤخذ أحمال إضافية أخرى مثل ضغط المياه الخلفى وضغط الدفع لأعلى Uplift pressure وكذلك ضغط المياه لأعلى تحت القطاعات المعلقة والترسيبات على الأوجه المائلة Deposition of silt ومن الأحمال الحية الأخرى حركة الطمى Silt فى مياه تصرف الفيضانات ، تكونات الثلج السطحى ، والقوى الناتجة عن الزلازل.

عند تصميم السدود العقدية فإن قوة الضغط لأعلى Uplift pressure لا تعتبر عاملا أساسيا يؤخذ فى الإعتبار لذا يمكن إهمالها فى حالة عدم حدوث شروخ Cracks فى جسم السد وفى حالة حدوث شروخ فإن قوة الدفع لأعلى تسبب زيادة الترخيم فى الخلف ، وتحدث تغيرات فى توزيع الحمل وزيادة إجهادات الضغط العظمى فى كل من عناصر القوس والكابولى. ويمكن تمثيل ضغط الثلج على أنه حمل مركز مستمر على طول عنصر القوس عند مستوى تكوين الثلج ، ويمكن حساب توزيع الأحمال بطريقة محاولات الأحمال ويمكن نقل الحمل إلى الأكتاف والأساسات بوضع حديد تسليح Reinforcement فى الوجه الأمامى للسد.

وتسبب الفروق فى درجات الحرارة بين وجهى السد فى خلق قوى داخلية Internal forces فى جسم السد والتى تعمل على حركة الوجه الأمامى للسد خلال الصيف والوجه الخلفى خلال الشتاء وتعمل الحالة الأولى عكس الإجهادات الناتجة عن أحمال المياه على السد وبعد ذلك تعمل معه فى الحالة الثانية لذلك فإن ظروف الشتاء تكون أكثر أهمية عند تحليل الإجهادات.

٦-٥-٥ توزيع الإجهادات على السدود العقدية

Distribution of Stresses in Arch Dams

يتوقف توزيع الإجهادات على السد العقدى على نصف قطر الإنحناء الأفقى وشكل القطاعات العرضية الرأسية والأبعاد العامة للمنشأ وإنتظام شكل الوادى المنشأ عليه السد.

٦-٥-٥-١ إجهادات الكابولى

تنشأ أقصى إجهادات كابولية فى السدود العقدية فى المواقع الخالية من التشكلات غير المنتظمة المعروفة. وعادة ما تحدث عند قاعدة الكابولى الأكثر إرتفاعا أثناء حمل الخزان المملوء وتحدث أقصى إجهادات ضغط عند الحافة الخلفية للقاعدة ، وغالبا ما تحدث إجهادات الشد عند الحافة الأمامية للقاعدة وذلك فى حالة السدود العقدية الرفيعة.

٦-٥-٥-٢ إجهادات العقد

إجهادات العقد عند المركز والأجزاء العلوية للسدود العقدية غالبا ما تكون أعلى من الجزء السفلى وتحدث أقصى إجهادات بالعقد عند قطاعات القمة Crown والأكتاف Abutment وعند قطاع القمة فإن إجهادات الضغط العالية غالبا ما تحدث عند الوجه الأمامى للسد وإجهادات الضغط المنخفضة أو إجهادات

الشد عند الوجه الخلفى وعند قطاعات الأكتاف فإن حالات الإجهاد عادة ما تكون معكوسة الوضع مع التغيير فى إشارة العزم الذى يحدث بالقرب من نقط أرباع القطاع Quarter points .

٦-٥-٦ تصميم السدود العقدية

أفضل تصميم للسدود العقدية ذلك التصميم الذى يعطى إجهادات منتظمة التوزيع وإجهادات شد أقل ما يمكن. وأقصى إجهادات ضغط وقص تكون فى الحدود المسموح بها والتكاليف الكلية للمنشأ أقل ما يمكن.

تحلل الإجهادات فى السدود العقدية بطريقة التجريب والخطأ مع عدم السماح بنقل الأحمال بالشد وإجهادات الضغط يجب أن لا تزيد عن ٤٠ كجم / سم٢ والقص عن ٢٠ كجم / سم٢ أثناء أقصى ملء للخزان ، ويجب أخذ تأثير الزلازل فى الإعتبار بزيادة الإجهادات من ١٠ % إلى ١٥ % ويجب أن يدرس المهندس عند إعداد التخطيط الأولى للسد العقدى التصميمات المناظرة للمواقع المماثلة حيث يتم تحديد الأبعاد والإنحناءات بدقة بطريقة محاولات تحليل الأحمال Trial load analysis ولكى نتجنب إجهادات الشد العالية عند وجه الخزان The reservoir face ولضمان أقصى كفاءة للعقد فإنه يجب أن تكون الزاوية المركزية للعقد أكبر ما يمكن والإعتبارات النظرية توضح أن الزاوية المركزية ٣٤/ ١٣٣° تكون لها مميزات عظمى من وجهة النظر الإقتصادية ولكن الشروط الطبوغرافية عادة ما تمنع من توفير هذه الزاوية لعناصر العقد السفلى.

ويجب أن ينشأ قطاع عرض قمة السد العقدى بحيث يكون ثابتا من الكتف إلى الكتف ويمكن أن يكون سمك العقد عند المناسيب المنخفضة ثابتاً أو يزداد كلما إتجهنا نحو الأكتاف إعتمادا على حالات الإجهاد.

ويجب ألا تزيد نسبة الطول إلى السمك عند قمة السد عن ٦٠ وتفضل القيم الصغيرة فى بعض الأحيان للحصول على قطاع صلد عند قمة السد ليكون مناسبا لإنشاء طريق على طول جسم السد.

ويجب حساب أعماق الحفر فى كل من الأساسات والأكتاف عند تحديد الأبعاد فى التحليل الأولى ويجب أن تكون الأسطح المحفورة متدرجة بين المناسيب المختلفة ويجب تجنب التدرج الكبير على طول مستويات الأكتاف ويجب أن تكون عمليات الصرف والحقن على كفاءة عالية ويجب دراسة الخواص الجيولوجية عند موقع السد بواسطة خبير أساسات قبل إجراء التصميمات التفصيلية.

٦-٥-٧ تحليل القوى للتصميم الأولى

يجرى تحليل القوى للتصميم الأولى لأحمال الخزان المملوء بالإضافة إلى أقصى إنخفاض فى درجات الحرارة ويؤخذ تأثير الأحمال الأخرى بعد إختيار التصميم الرئيسى ويمكن عمل تحليل التصميم الأولى بإحدى الطرق الآتية :

١- تحديد Assigning الأحمال الأفقية على عناصر القوس.
٢- تقسيم الأحمال الأفقية بين عناصر القوس والكابولى على أساس الضبط الشعاعى للترخيم Radial adjustment of deflection عند قطاع القمة Crown .
٣- تقسيم الأحمال الأفقية بين عناصر القوس والكابولى على أساس الضبط الإشعاعى عند قطاعات مختلفة.

وتعتمد الطريقة التى تستخدم على شكل الوادى وعلى إرتفاع وأهمية المنشأ كما يلى :

- تلائم الطريقة الأولى الحالات التى يكون فيها الوادى منتظما Regular وضيقا Narrow وإرتفاع السد صغيرا ولذلك يفضل السد العقدى المتماثل ذو السمك الرفيع والزاوية المركزية كبيرة.

- علـى الجانـب الأخر تلائم الطـريقة الثانية الأوديـة التى علـى شكل V-Shape وجوانـب الـوادى ليست منتظمة تماما والسد صغير جدا نسبيا.
- تلائم الطـريقــة الثالـثة الحـالات التى يكـون فيها شـــكل الـوادى غير متماثل والموقـع صـخرياً Rock profile ويحتوى على عدم إنتظامية مؤكدة وظاهرة.

٦-٥-٧-١ الأحمال الكلية على العقود

إستنتجت كثير من المعادلات لتحليل العقود الدائرية ذات السمك الثابت وتحت تأثير الأحمال القطرية المنتظمة بواسطة كثير من الدارسين. وفيما يلى عرض لبعض معادلات كين المعدلة Cain لقوة الدفع Thrust والعزم عند قطاعات القمة والأكتاف والناتجة عن أحمال المياه المنتظمة - شكل (٦-١٩).

قوة الدفع عند التاج (H_0)

$$H_0 = \mathrm{Pr} - \frac{\mathrm{Pr}}{\mathrm{D}} 2\phi \,\mathrm{Sin}\,\phi \left\{\frac{\mathrm{t}^2}{12\,\mathrm{r}^2}\right\} \qquad (6\text{-}3)$$

العزم عند التاج (M_0)

$$M_0 = -(\mathrm{Pr} - \mathrm{H}_0)\,\mathrm{r}\left(1 - \frac{\mathrm{Sin}\,\phi}{\phi}\right) \qquad (6\text{-}4)$$

قوة الدفع عند الكتف (H_a)

$$H_a = \mathrm{Pr} - (\mathrm{Pr} - \mathrm{H}_0)\,\mathrm{Cos}\,\phi \qquad (6\text{-}5)$$

العزم عند الكتف (M_a)

$$M_a = \mathrm{r}\,(\mathrm{Pr} - \mathrm{H}_0)\left\{\frac{\mathrm{Sin}\,\phi}{\phi} - \mathrm{Cos}\,\phi\right\} \qquad (6\text{-}6)$$

حيث

r = نصف القطر عند محور القوس

P = الضغط الشعاعى الكلى عند محور القوس

t = سمك القوس الأفقى

ϕ = الزاوية بين التاج (Crown) والكتف (Abutment) بالتقدير الدائرى

وإذا تم إهمال القص فإن (D) يمكن حسابها من المعادلة (٦-٧)

$$D = \left(1 + \frac{\mathrm{t}^2}{12\,r^2}\right)\phi \;\left(\phi + \frac{\mathrm{Sin}\,2\phi}{2}\right) - 2\,\mathrm{Sin}^2\,\phi \qquad (6\text{-}7)$$

وإذا أخذ القص فى الإعتبار فإن (D) سوف تستبدل بـ (D_S) وتحسب من المعادلة (٦-٨)

$$D_s = (1+\frac{t^2}{12\,r^2})\,\phi\,(\phi+\frac{\text{Sin}\,2\phi}{2}) - 2\,\text{Sin}^2\,\phi + 30\,(\frac{t^2}{12\,r^2})\,\phi\,(\phi-\frac{\text{Sin}\,2\phi}{2}) \qquad (6\text{-}8)$$

وبعد حساب العزوم وقوة الدفع يمكن إيجاد الإجهادات على القوس الخارجى (Extrados) والداخلى (Entrados) من المعادلة الآتية :

$$f = (\frac{H}{t}) \pm (\frac{6\,M}{t^2}) \qquad (6\text{-}9)$$

وإذا أخذ فى الإعتبار الأحمال الناتجة عن الحرارة مع إهمال القص فإن معادلات كين تأخذ الصور التالية:

$$H_0 = (\frac{2\,\phi\,\text{Sin}\,\phi}{D})\,(\frac{E\,t^3\,c\,T}{12\,r^2}) \qquad (6\text{-}10)$$

$$M_0 = H_0\,r\,(1-\frac{\text{Sin}\,\phi}{\phi}) \qquad (6\text{-}11)$$

$$H_a = H_0\,\text{Cos}\,\phi \qquad (6\text{-}12)$$

$$M_a = H_0\,r\,(1-\text{Cos}\,\phi) - M_0 \qquad (6\text{-}13)$$

حيث

E = معامل المرونة لمادة الخرسانة

c = معامل التمدد الحرارى للخرسانة

T = التغير فى درجة الحرارة بين سطحى السد

٦-٥-٧-٢ الضبط الشعاعى عند القمة Radial Adjustment at Crown

عند تحليل السد العقدى بتقسيم الأحمال الأفقية بين عناصر القوس والكابولى على أساس الضبط الإشعاعى للترخيم عند القمة سوف تستعمل صيغ الكابولى والقوس وتفترض هذه الطرق أن حمل المياه الجزئى على عناصر القوس ثابتة من الكتف إلى الكتف لذلك يمكن إستخدام معادلات كين مثل معادلات الترخيم لسمك ثابت ، العقود الدائرية ، مع بعض التعديلات البسيطة كما يلى :

$$\textit{WaterLoadDeflection}\ \Delta = \frac{P\,R_u\,rc}{Et} \qquad (6\text{-}14)$$

حيث

Δ = الترخيم الناتج عن حمل المياه

P = الضغط الإشعاعى العادى عند القوس الخارجى

R_u = نصف قطر القوس الخارجى

C = معامل يعتمد على ϕ , t , r

$$\text{Temperature Deflection}\ \Delta_t = c\,r\,TC \qquad (6\text{-}15)$$

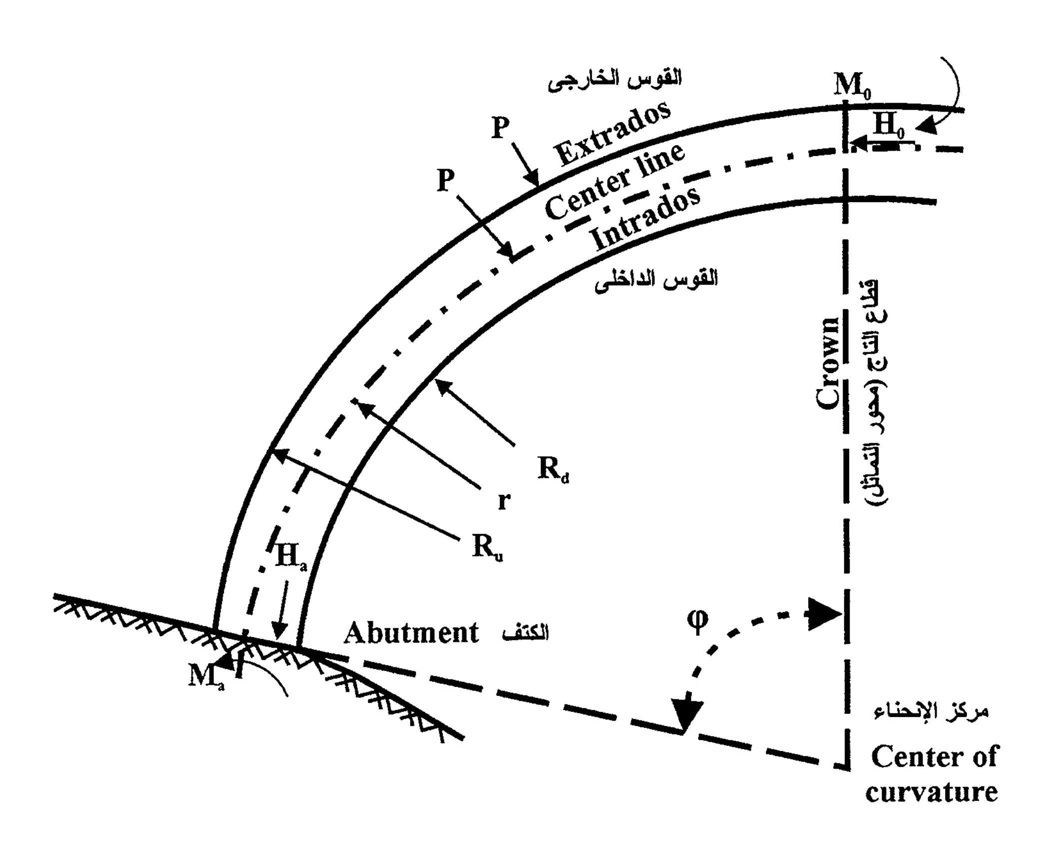
وإذا أهمل القص فيمكن حساب (C) من المعادلة (٦-١٦)

$$C = \frac{(\phi - \text{Sin}\,\phi)(1 - \text{Cos}\,\phi)}{[\phi + (\text{Sin}\,2\phi / 2)] - [(1 - \text{Cos}\,2\phi) / \phi\,(1 + t^2 / 12\,r^2)]} \qquad (6\text{-}16)$$

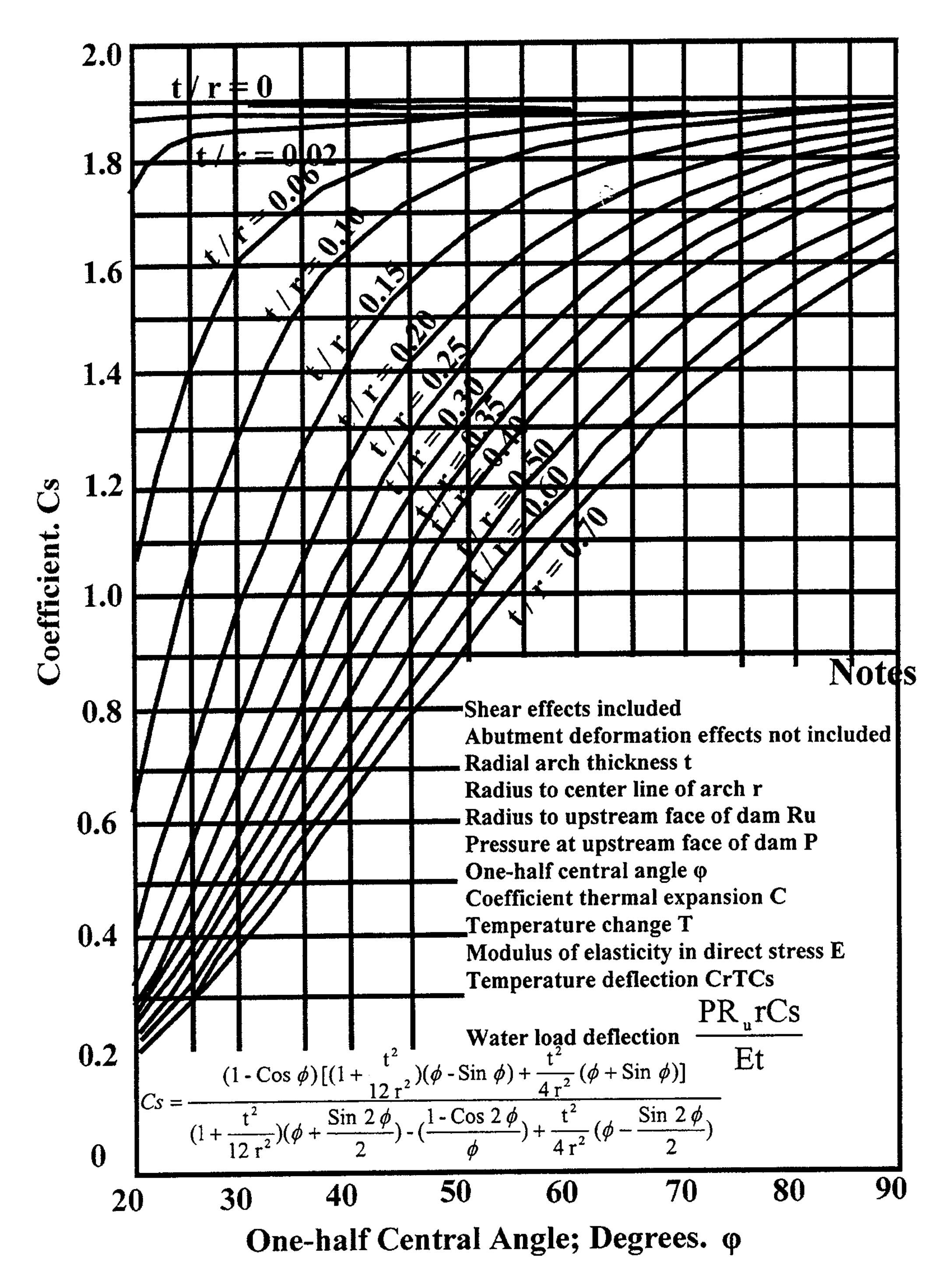
وإذا أخذ القص فى الإعتبار فيمكن إستبدال (C) بـ (C_s) ويمكن إيجادها من الشكل (٦-٢٠) الذى يعطى قيم C_s كدالة فى (t / r) , ϕ

٦-٥-٨ التحليل الإنشائى المتقدم

تم توضيح عيوب التحليل المرن للعقود الرفيعة وأهمية دراسة الفعل المشترك لتأثير العقد والكابولى وكذلك تأثير الأكتاف على العقد ولقد تم تطوير برامج للحاسب الآلى لتحليل السدود العقدية فى الأبعاد الثلاثة بإستخدام طريقة تحليل العناصر المحددة Finite element analysis والطريقة على دقتها تحتاج لخبرة خاصة فى التطبيق.



شكل (٦-١٩) سد عقدى دائرى ذو سمك ثابت



شكل (٦-٢٠) قيم المعامل C_s لإدخال تأثير القص فى معادلات الترخيم (٦-١٤) & (٦-١٥)

٦-٦ المراجع

1. El-Kaleb, M.H., "Irrigation Design II: Locks and Dams: Class Notes, Cairo University, Faculty of Engineering, Giza, Egypt, (1974).

2. GolzGe, A.R., "Handbook of Dam Engineering", John Wiley and Sons, New York, U.S.A, (1977).

3. Jansen, R.B. (Editor),"Advanced Dam Engineering for Design, construction and Rehabilitation". Chapman and Hall, London, UK, (1990).

4. Novak P., Moffat A., Nallurie C. and R. Narazanan, "Hydraulic Structures", Second edition, E&FN spon, London, UK, (1996).

5. Roberson, J.A., Cassidy, J.J. and M.H. Chaudhry, "Hydraulic Engineering", Second edition, John Wiley & Sonc. Inc. NewYork, U.S.A, (1972).

6. Singh, B. and R.S. Varshney, "Engineering for Embankment Dams", Ashgate Publishing Company, New Delhi, India, (1995).

7. United States Bureau of Reclamation, "Design of Small Dams", Second edition U.S. Government Printing Office, Washington D.C., USA, (1977).

8. Vischer, D.L. and W.H. Hager, "Dam Hydraulics", John Wiley and Sons, New York, U.S.A, (1998).

9. Zeidlev, R.B. (Editor),"Design of Earth Dams", Balkema, Rotterdam, the Netherlands, (1992).

10. Zipparro, V.J. and H. Hasen (Editor), "Davis Handbook of Applied Hydraulics", McGraw Hill Book company, New York, U.S.A, (1992).

الباب السابع
الأهوسة الملاحية Navigation Locks

٧-١ عام

الغرض الأساسى من الهويس هو إمكانية رفع الوحدات الملاحية داخل حوضه من منسوب المياه المنخفض (الخلف) إلى منسوب المياه المرتفع (الأمام) والعكس وذلك عندما تعترض القناطر والسدود المجارى المائية مسببة إختلاف مناسيب المياه أمام وخلف هذه المنشآت (فرق التوازن). وتحتاج الأهوسة الملاحية إلى أبحاث ودراسات هيدروليكية مكثفة للتأكد من سلامة تصميمها وكفاءة تشغيلها. وقد تتطلب هذه الأبحاث دراسات على نماذج طبيعية مصغرة حينما لا تعطى الطرق الرياضية نتائج كافية تؤكد سلامة التصميم الهيدروليكي. وجدير بالذكر أن الأهوسة الكبيرة التى تتعرض لفرق توازن مائى كبير (أكبر من ٣ متر) تتطلب طرقا لملء وتفريغ حوضها كافية لإتمامها فى أسرع وقت مناسب دون أن تتعرض الوحدات الملاحية داخل حوض الهويس إلى ضغوط وإهتزازات مدمرة نتيجة للدوامات الدائرية والتيارات العكسية أثناء عملية الملء أو التفريغ.

٧-٢ مواقع إنشاء الأهوسة

يجب أن تتوفر المتطلبات التالية لموقع الهويس بالنسبة للمجرى المائي

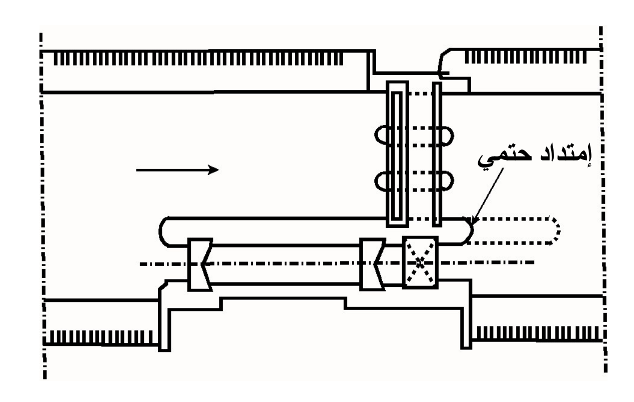
١- يجب أن يكون هناك عمق كاف من المياه بالمجرى لكى تتحرك الوحدات الملاحية دون عائق عند أكبر غاطس لها.
٢- عرض كافى من المياه لمناورات (Manoevering) الوحدات بالمجرى أثناء السرعات المختلفة.
٣- أن يكون الموقع بعيدا عن التيارات المائية الخطرة.
٤- يراعى فى الموقع وصول الوحدات إليه فى أقل وقت ممكن.

٧-٣ تحديد موقع الكوبرى بالنسبة للهويس

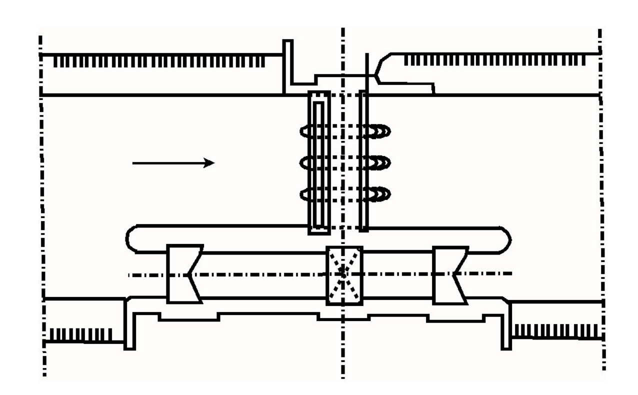
نظرا لأن معظم الأهوسة فى مصر توضع ملاصقة للقناطر على أحد جانبيها أى فى مجرى مائى واحد (هويس غير متماثل) ، فإن الأوضاع المختلفة لحوض الهويس بالنسبة للطريق فوق القناطر تتوقف على الكثافة المرورية فوق طريق القناطر وبالتبعية فوق كوبرى الهويس المتحرك. ولكل وضع من أوضاع حوض الهويس بالنسبة لمحور القناطر ظروفه الخاصة والدواعى التى ميزت إختياره حيث يجب أن يكون محور الكوبرى المتحرك فوق الهويس على إمتداد محور طريق القناطر. ولموقع هذه الكبارى بالنسبة لحوض الهويس أهمية إقتصاديا وفنيا ، ويراعى عند الإختيار كثافة المرور البرى والنهرى وأيهما أهم.

٧-٣-١ حوض الهويس بأكمله أمام محور طريق القناطر

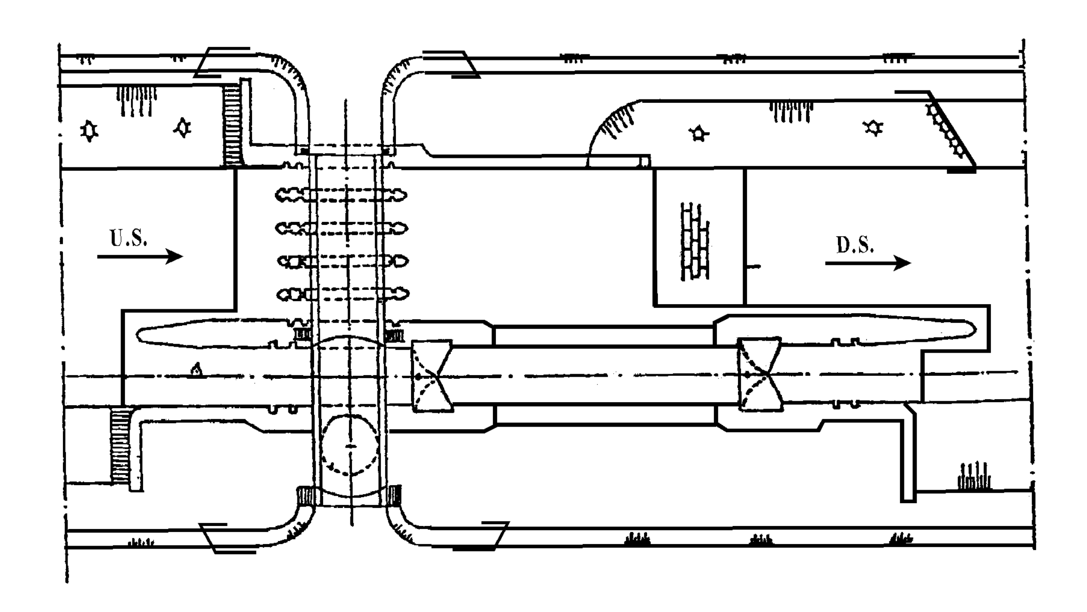
فى هذه الحالة يكون الكوبرى خلف البوابة الخلفية للهويس (شكل ٧-١). ويفضل هذا الوضع عندما يكون المرور البرى كثيفا ومستمرا وذا أهمية عن المرور الملاحي. ويلزم فى هذه الحالة إطالة حائط الهويس الموجهة (Guide Pier) من الخلف لحماية الوحدات من التيار الشديد الخارج من فتحات القناطر. ويجب الإلتفات إلى أن وقوع حائطى الهويس بكامل طولهما أمام القناطر عند منطقة تقل عندها السرعات وتكون المياه راكدة لحد ما يساعد على الترسيب داخل حوض الهويس.



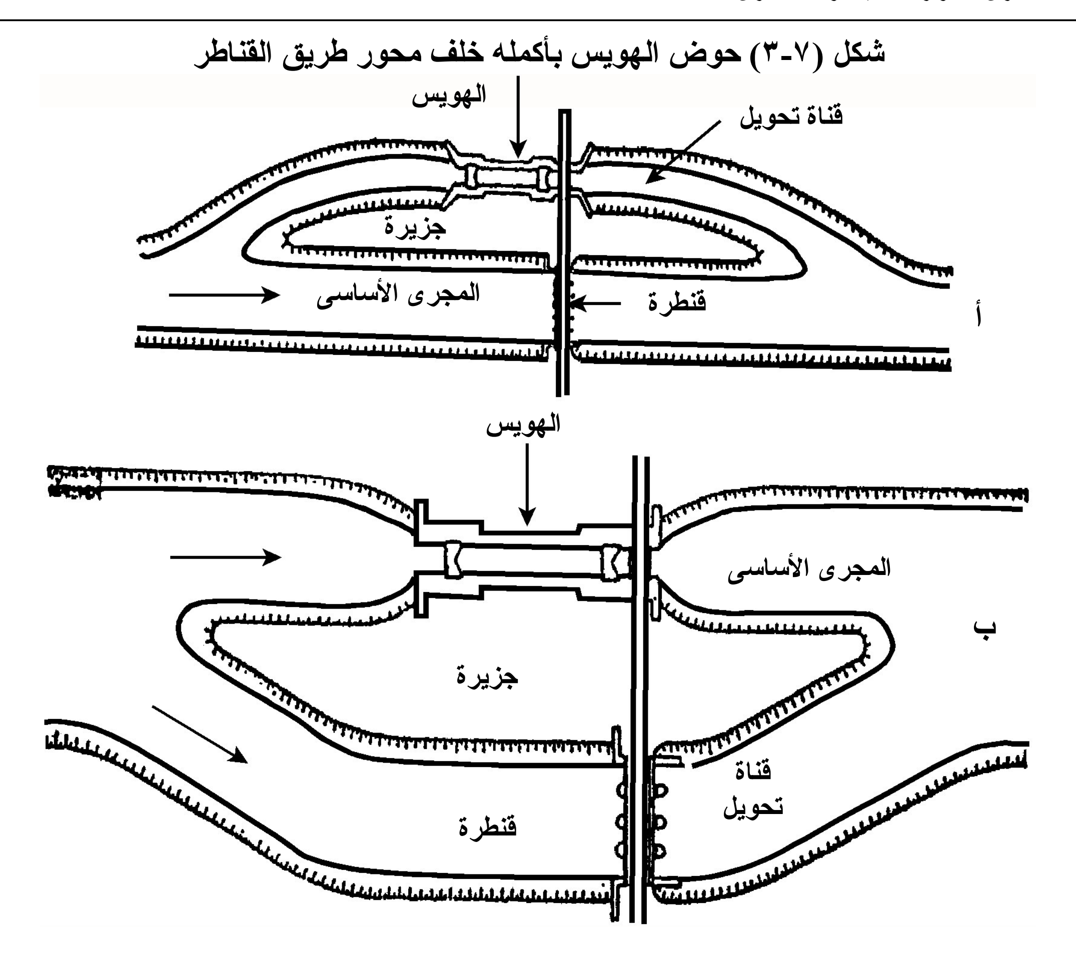
شكل (٧-١) حوض الهويس بأكمله أمام محور طريق القناطر



شكل (٧-٢) جزء من حوض الهويس أمام محور طريق القناطر والجزء الأخر خلفه



شكل (٧-٣) حوض الهويس بأكمله خلف محور طريق القناطر



شكل (٧-٤) هويس متماثل على قناة تحويل

٧-٣-٢ جزء من حوض الهويس أمام محور طريق القناطر والجزء الأخر خلفه

إذا وضع حوض الهويس جزئيا بالنسبة لمحور طريق القناطر كما فى شكل (٧-٢) فإن حركة المرور البرى فوق كوبرى الهويس تقف تماما طوال مدة التشغيل لمرور وحدة ملاحية. ولا مانع من اللجوء إلى هذا الوضع إذا ما كان المرور الملاحى أهم من المرور البرى.

٧-٣-٣ حوض الهويس بأكمله خلف محور طريق القناطر

فى هذه الحالة يكون الكوبرى المتحرك فوق حوض الهويس أمام البوابة الأمامية للهويس كما فى الشكل (٧-٣) ويلاحظ هنا أن شدة تيار الماء المتجه إلى الفتحات يعرض الوحدات الملاحية للخطر أثناء دخولها أو خروجها إلى ومن الهويس. ويتطلب الأمر إطالة حتمية لحائط دليل الهويس من ناحية الأمام بالطول الكافى لتفادى هذا الخطر. ولا يتم اللجوء إلى هذا الوضع إلا إذا كان المرور البرى فوق القناطر أكثر أهمية من المرور الملاحى.

ويراعى عند الإختيار بين الحالات الثلاثة لموقع حوض الهويس المذكورة فى البنود ٧-٣-١ ، ٧-٣-٢ ، ٧-٣-٣ التكلفة الإقتصادية وأهمية المرور سواء كان ملاحيا أو بريا.

وترجح الخبرة العملية الطويلة فى هذا المجال وضع محور الكوبرى فوق حوض الهويس عند الثلث الخلفى بحيث لا يضطر لفتح الكوبرى أثناء تشغيل الهويس إلا إذا كانت الوحدة الملاحية المارة طويلة جدا

أو إذا تواجد العديد من الوحدات داخل حوض الهويس فى وقت واحد وذلك إستثناء على أن ثلث طول الحوض يمكن إستخدامه فى معظم الحالات دون عوائق تذكر أو تعطيل المرور لمدد طويلة.

٧-٤ الأشكال والأوضاع المختلفة للأهوسة

٧-٤-١ الهويس المتماثل على قناة تحويل

فى هذه الحالة يوضع الهويس بمجرى مائى مستقل (تحويلة) عن المجرى الرئيسى للمنشأ الأساسى كما هو موضح بالشكل (٧-٤) أ ، ب.

٧-٤-٢ الهويس غير المتماثل بجوار القناطر أو الهدار أو السد

يوضع الهويس فى هذه الحالة ملاصقا للمنشأ الأساسى (قناطر ، سد ، هدار ، ....) فى نفس المجرى وبذلك يعتبر المنشأ الأساسى والهويس وحدة إنشائية واحدة كما هو موضح بالشكل (٧-٥).

٧-٥ الإختيار المناسب لأبعاد حوض الهويس

٧-٥-١ طول الهويس

يراعى عند إختيار طول الهويس أن يسمح هذا الطول بمرور أكبر الوحدات طولا وكذلك الجرار الذى يستخدم فى سحب الوحدات (الصنادل). وفى المجارى المائية الكبيرة مثل نهر النيل يؤخذ الطول ليسمح بمرور وحدتين سياحيتين. وتستخدم المعادلة التالية فى تحديد طول الهويس :

$$ل = [ل_{ج} + ن\ ل_{ص} + \Delta ل\ (ن + ١)]\ x\ ١,١٥ \qquad (٧-١)$$

حيث

ل = الطول الكلى لحوض الهويس

$ل_{ج}$ = طول الجرار

ن = عدد الصنادل المسحوبة

$ل_{ص}$ = طول الصندل

Δ ل = المسافة بين الصنادل وبعضها وتؤخذ عادة ٢ متر

٧-٥-٢ عرض الهويس

يجب أن يسمح عرض الهويس بمرور قافلة الوحدات الملاحية دون عمل مناورة داخل حوض الهويس. ويمكن إستخدام المعادلة التالية لتحديد عرض الهويس

$$ع = م\ ع_{ص} + \Delta ع\ (م + ١) \qquad (٧-٢)$$

حيث

ع = العرض الكلى للهويس

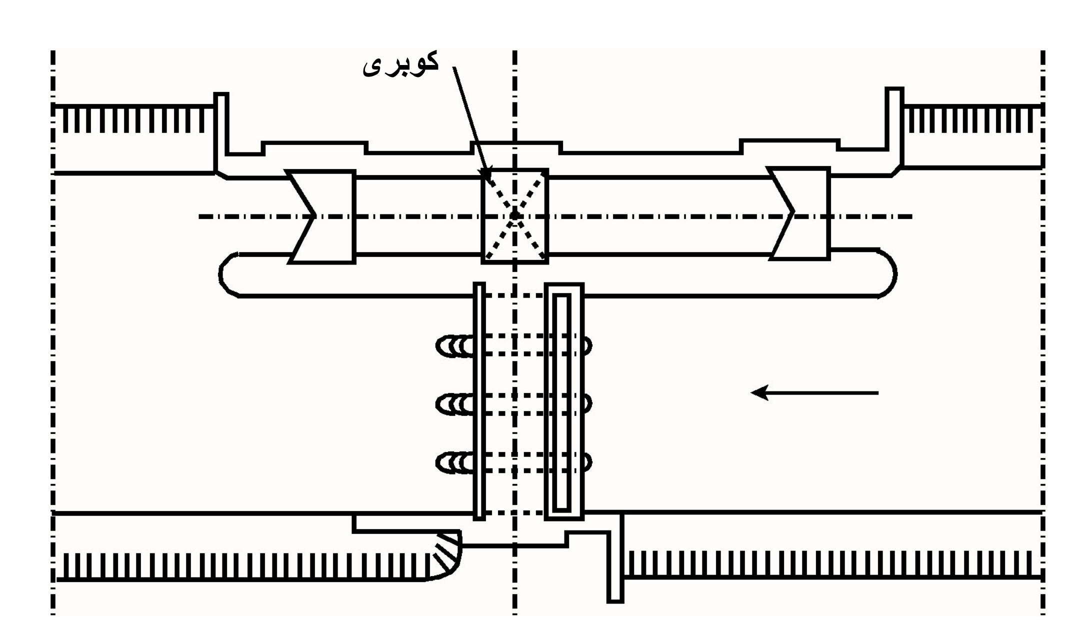
م = عدد الصفوف

$ع_{ص}$ = عرض الوحدة أو الصندل

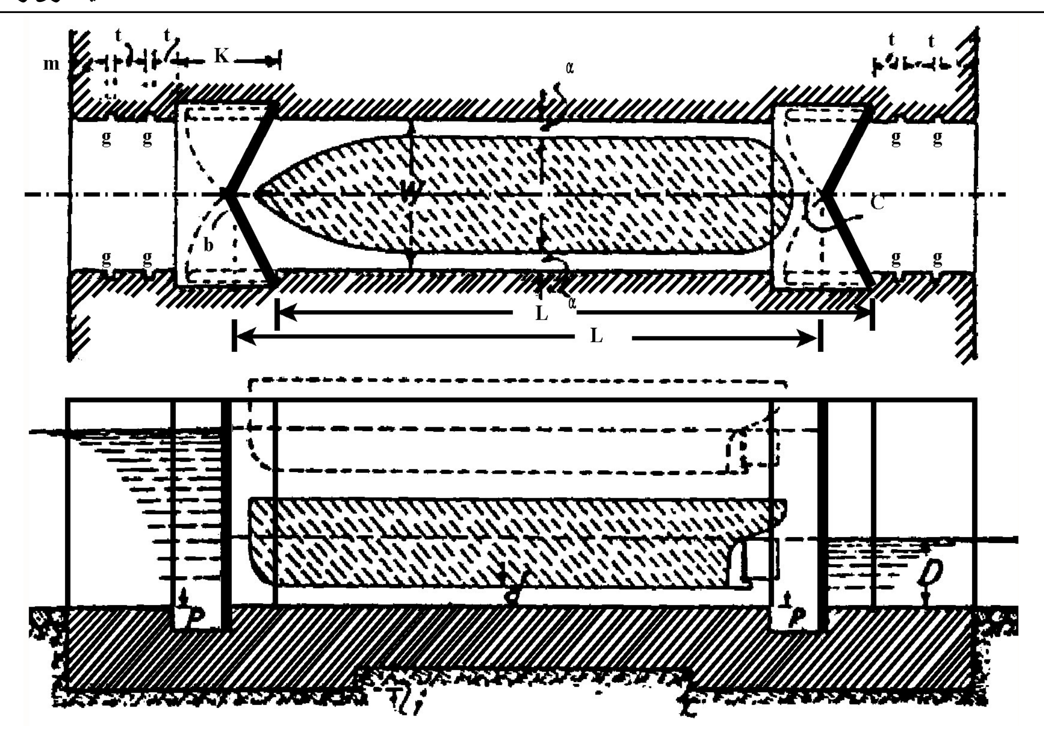
Δ ع = خلوص أمان بين حائطى الهويس والوحدات العابرة ويؤخذ عادة من ٠,٥٠ إلى ١,٠٠ متر

وتبعا للخبرات العالمية فإن الخلوص المطلوب لمرور الوحدات بالهويس يكون طبقا لما هو موضح بالشكل (٧-٦) حيث :

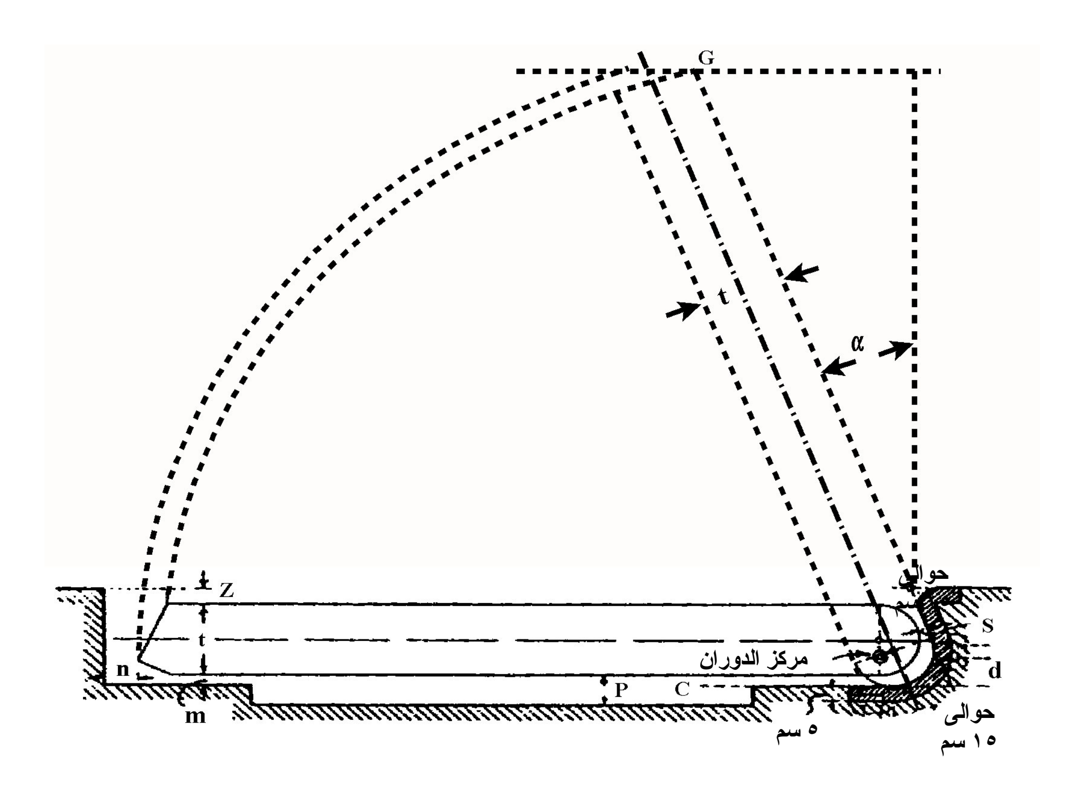
a = ٠,٧٠ إلى ١,٥٠ متر للأنهار ومن ٠,٤٠ إلى ٠,٩٠ متر للترع والرياحات
b + c = ١,٠٠ إلى ٥,٠٠ متر للأنهار والترع والرياحات
d = ٠,٥٠ إلى ١,٥٠ متر للأنهار ومن ٠,٥٠ إلى ١,٠٠ متر للترع والرياحات
m = لا تقل عن ٢,٥٠ متر فى الأمام أما فى الخلف فيجب تحديدها بحساب الإجهادات الناتجة عن ضغط البوابات أثناء التشغيل
K = تتوقف على حجم البوابة وتفاصيلها
t = تتراوح ما بين ١,٥٠ إلى ٢,٠٠ متر
g = ٠,٤٠ x ٠,٤٠ أو ٠,٣٠ x ٠,٣٠ متر
p = ٠,٥٠ متر



شكل (٧-٥) هويس غير متماثل بجوار القناطر



شكل (٧-٦) الخلوص المطلوب لمرور الوحدات بالهويس



شكل (٧-٧) الخلوص بين أجزاء بوابة الهويس والمبانى بجوارها

٧-٥-٣ إرتفاع حوائط الهويس

تؤخذ المسافة الحرة (Free Board) بين منسوب سطح حائطى الهويس وأعلى منسوب للمياه بحوض الهويس (منسوب الأمام الأقصى) ١,٠٠ متر كحد أدنى علما بأن منسوب أعلى الحائط الموجه (Guide Wall) بالخلف يتوقف عادة على دراسة مناسيب خلف القناطر ومدى تذبذبها.

وللحصول على سهولة تشغيل بوابة الهويس فإن الخلوص بين أجزاء البوابة الحديدية والمبانى بجوارها يكون حسب الشكل (٧-٧) حيث :

n = لا تقل عن ٢٥ سم
m = من ٢ إلى ٥ سم
p = من ١٢إلى ٢٠ سم
s = تؤخذ عادة ٣ سم
t = ١٢/١ عرض البوابة أو ٢٠/١ عرض الهويس
z = من ١٠ إلى ١٥ سم

ويمكن حساب طول البوابة كما هو موضح بالشكل (٧-٨) وبإستخدام المعادلة التالية :

$$L = \frac{(\frac{w}{2}) + z + m + \frac{t}{2}}{Cos\,\alpha} + \frac{t}{2} + S\,\mathrm{Tan}\,\alpha \qquad (7\text{-}3)$$

حيث
w = عرض الهويس
وباقى العوامل موضحة بالشكل (٧-٨).

٧-٥-٤ مواصفات وأبعاد الوحدات النهرية وتحديد عمق الغاطس

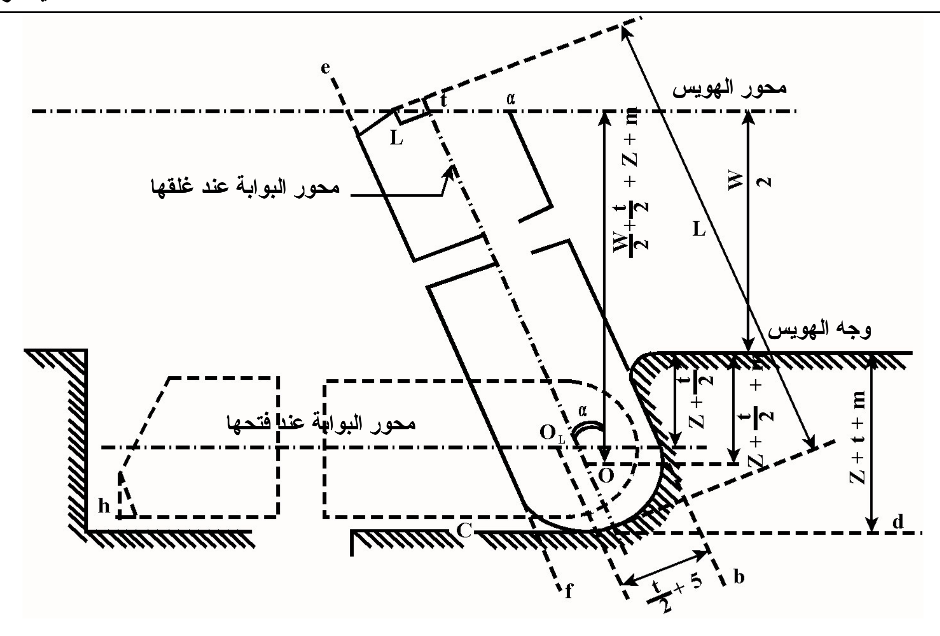
يجب عمل دراسة تفصيلية عند تحديد أبعاد الهويس بحيث تتناسب وحجم الوحدات الملاحية حيث أن أى تهاون فى ذلك سيقلل من كفاءة الهويس ويتسبب فى إهدار كمية من المياه خلف الهويس دون فائدة.

ويمكن الإسترشاد بالمقاسات التالية للوحدات الملاحية السائدة فى نهر النيل وفروعه :

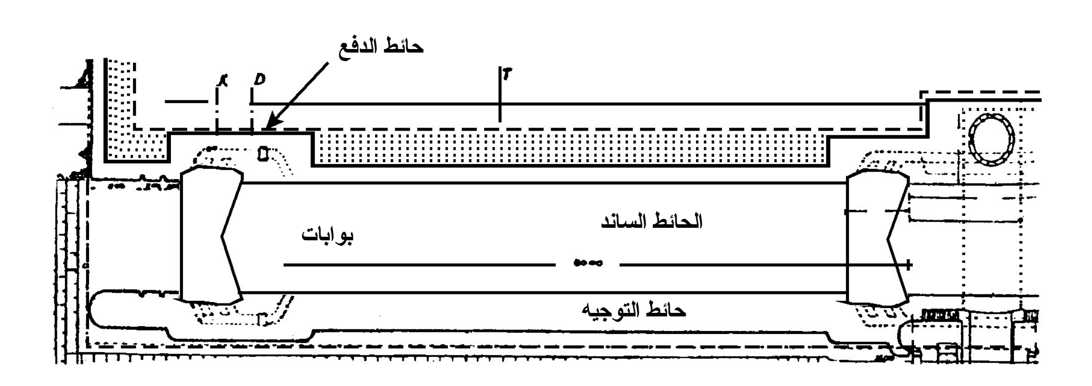
- أسطول النقل بطول ٥٠ متر وعرض ٧,٥ متر.
- أسطول نقل الفوسفات بطول ٤٢ متر وعرض ٧,٥ متر.
- المراكب السياحية والفنادق العائمة بطول ٧٠ متر تقريبا وعرض حوالى ١٢ متر.
- ويجب ألا يقل عمق المياه داخل الهويس فى جميع الأحوال عن ٣ متر ليقابل هذا العمق أقصى غاطس ملاحى وقيمته ١,٨٠ متر تقريبا.

وبتحديد عمق المياه داخل الهويس يمكن إستنتاج منسوب السطح العلوى لفرش الهويس والعلاقات التالية علاقات إسترشادية للإستنتاج التقريبى لطول وعرض الهويس وعمق المياه به :

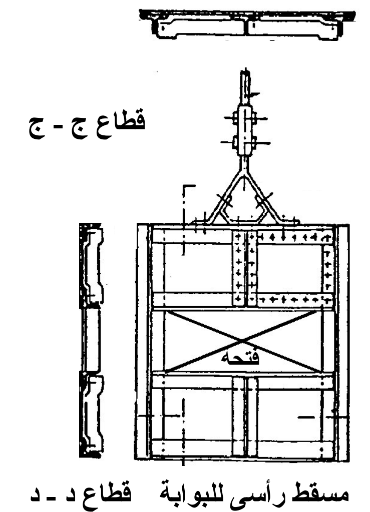
الطول = ١,٢٥ x الطول التصميمى للوحدات الملاحية
العرض = ١,١٥ x العرض التصميمى للوحدات الملاحية
عمق المياه = ١,٢٥ x أقصى غاطس

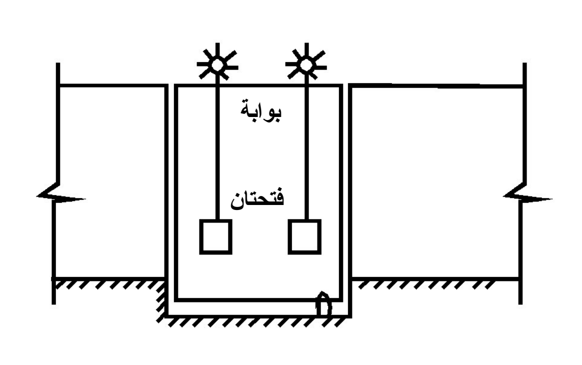


شكل (٧-٨) حساب طول بوابة الهويس



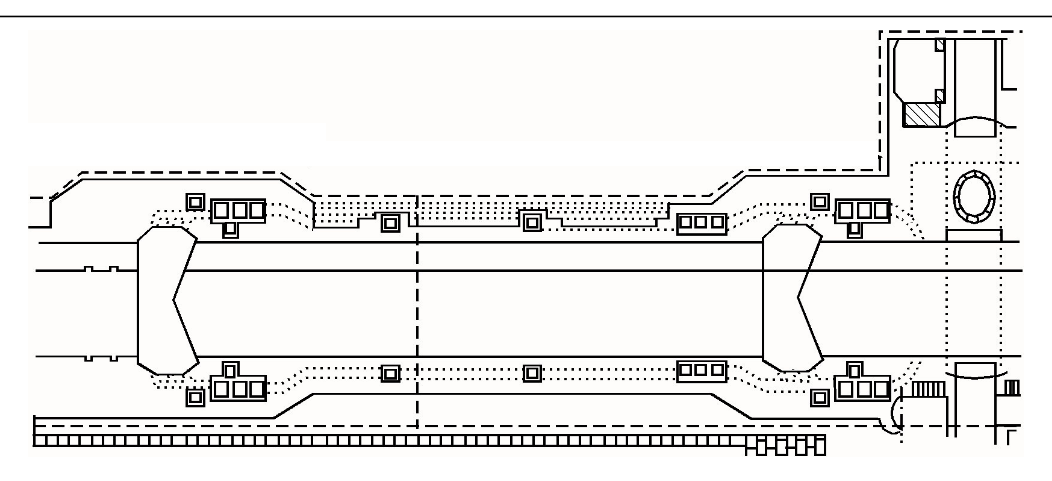
(أ) برابخ جانبية منفصلة فى حوائط الهويس





(ب) تفاصيل الفتحات فى بوابات الهويس

شكل (٧-٩) الطريقة المباشرة لملء وتفريغ الهويس



شكل (٧-١٠) تفاصيل البرابخ المستمرة بحائطى حوض الهويس

٧-٦ ملء وتفريغ الهويس والزمن اللازم للتشغيل

٧-٦-١ عام

من الضرورى تزويد الأهوسة بطرق ملء وتفريغ مناسبة لدخول المياه إليها وخروجها منها بالجاذبية (by Gravity) أثناء عملية تشغيل الهويس.

ويجب إعتبار المتطلبات العامة التالية عند تصميم طرق الملء والتفريغ للأهوسة :

١- يجب أن تتم كل من عمليتى الملء والتفريغ بأقصى سرعة مسموح بها.
٢- منع الإضطرابات الناتجة من التيار المائى أثناء التشغيل حتى لا تؤثر على الوحدات الملاحية داخل حوض الهويس أو فى منطقة الإقتراب.
٣- يجب أن تكون عمليتا الملء والتفريغ إقتصاديتين فى التنفيذ والتشغيل.

ويجب التوفيق بين سرعة ملء وتفريغ الهويس المرغوب فيها والقوى الناتجة عن ذلك والمؤثرة على الوحدات الملاحية داخل الحوض والتى يجب ألا تزيد عن الحد المسموح به والذى لا يسبب الضرر لهذه الوحدات أو تلف حائطى الهويس.

ويمكن إستخدام المعادلة العملية التالية والتى إستنتجها العالم الروسى B. D. Katchnovesky لتحديد قيمة القوى المؤثرة على الوحدات الملاحية :

$$S = \frac{1}{35} W^{3/5} \qquad (7\text{-}4)$$

حيث

s = القوى المؤثرة على الوحدات بالطن (وبحيث لا تزيد عن ٥ طن)

w = وزن الوحدة بالطن

٧-٦-٢ الطرق المختلفة لملء وتفريغ الهويس

هناك طريقتان أساسيتان لملء وتفريغ الأهوسة :

أ- الطريقة المباشرة End System

وهى إما عن طريق برابخ قصيرة بنهايتى الحوض وعلى جانبيه أو عن طريق فتحات ببوابات الهويس الأمامية والخلفية (شكل ٧-٩ أ ، ب). وهذه الطريقة إقتصادية وبسيطة وتستخدم فى الأهوسة الصغيرة وعندما يكون الضاغط المائى أقل من ٢,٥ متر.

ب- طريقة إستخدام البرابخ الطولية بحائطى حوض الهويس

وهى عبارة عن برابخ طولية على جانبى الحوض بطول حائطيه يتفرع منها برابخ فرعية تؤدى إلى حوض الهويس كما بالشكل (٧-١٠). وتستعمل هذه الطريقة فى الأهوسة الكبيرة وعندما يزيد الضاغط المائى عليها عن ٢,٥ متر. وتعطى هذه الطريقة توزيعا أفضل للمياه داخل حوض الهويس. وللحصول على تيار منتظم داخل الحوض يراعى أن يكون مجموع مساحة الفتحات الجانبية أكبر من مساحة البربخ الرئيسى بحوالى ٣٠ إلى ٥٠ % .

وأحيانا ما تمتد الفتحات الجانبية حتى الحائط الموجه لمزيد من إنتظام التيارات داخل حوض الهويس كما هو موضح بالشكل (٧-١١). كما وأنه يمكن أن تتفرع فتحات جانبيه ثانوية صغيرة من مسار الفتحات الجانبية الرئيسية لكى تنتشر المياه بدون حدوث دوامات أو تيارات عكسية كما بالشكل (٧-١٢).

٧-٦-٣ الزمن الآمن لملء وتفريغ حوض الهويس

الزمن المطلوب لعملية الملء أو التفريغ يتوقف على مساحة القطاع المائى للبرابخ والفتحات بالبوابات. وبإفتراض أن المساحة الأولى = a_1 والمساحة الثانية = a_2 على التوالى ، وبفرض أن فرق التوازن بين الأمام والخلف هو h (متر) فإن الزمن اللازم لعملية الملء أو التفريغ T (ثانية) يمكن أن يحسب من المعادلة التالية :

$$T = \frac{2\,W\,L\,\sqrt{h}}{\sqrt{2g}\,(u_1\,a_1 + u_2\,a_2)} \qquad (7\text{-}5)$$

حيث

w = عرض حوض الهويس بالمتر

L = طول حوض الهويس بالمتر

u_1 = معامل التصرف بالبرابخ $\cong$ ٠,٦٢

u_2 = معامل التصرف من الفتحات $\cong$ (٠,٥٥ إلى ٠,٩٣) u_1 ويفضل أن يؤخذ مساويا ٠,٣٢ .

ويمثل مجموع المساحات للفتحات بالبوابات والبرابخ نسبة من حاصل ضرب $(w \times L)$ أى مساحة سطح المياه بالهويس ، وتتراوح هذه النسبة ما بين ١ : ٢٠٠ إلى ١ : ٢٥٠ .

وعادة ما تكون فتحات الملء والتفريغ ببوابات الهويس عبارة عن فتحتين طول كل منهما ١,٠٠ متر وعرضها ٠,٤٠ متر.

٧-٧ تصميم الهويس

٧-٧-١ عام

يتكون الهويس من الأجزاء الرئيسية التالية :

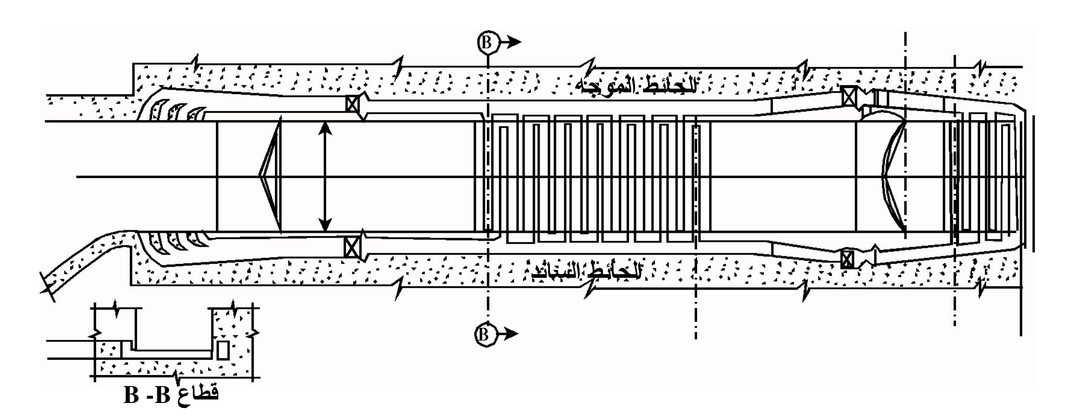
أ- حوض الهويس وأرضيته.
ب- الحوائط الجانبية (السائدة والموجهة)
ج- البوابات الأمامية والخلفية.
د- برابخ الملء والتفريغ.
هـ- الكوبرى الحديدى فوق حوض الهويس.

وتتكون جوانب حوض الهويس إما من الميول الطبيعية الترابية للمجرى الملاحى ذات تكسية بالدبش ، أو من صفائح حديدية (Sheet Piles) ، أو حوائط خرسانية أو مبانى من الأحجار (شكل ٧-١٣).

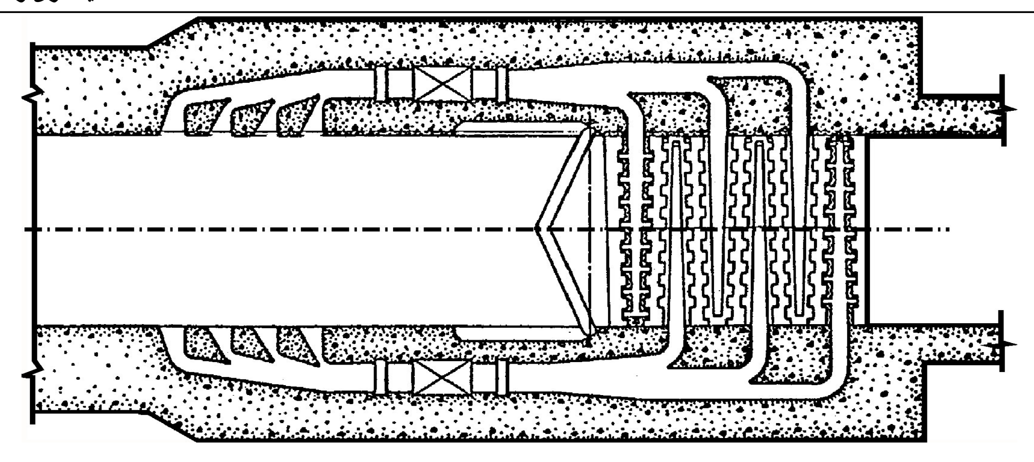
وفى حالة الأهوسة ذات الجوانب المتماثلة والتى يشغل فيها الهويس المجرى المائى الملاحى بأكمله مثل حالة تقاطع ترعة ملاحية مع مصرف ملاحى ، فتتطلب هذه الحالة هويسين متماثلى الجوانب وسحارة كما هو موضح بالشكل (٧-١٤).

أما فى حالة الأهوسة غير المتماثلة والتى تنشأ بجوار الخزانات والهدارات فى مجرى واحد وعلى أحد جانبيه ، فيطلق على حائط الهويس الساند للأتربة "الحائط الجانبي" (Side Wall) ويصمم على أنه حائط ساند ، ويطلق على الحائط الأخر "الحائط الموجه" (Guide Pier) كما فى الشكل (٧-١٥).

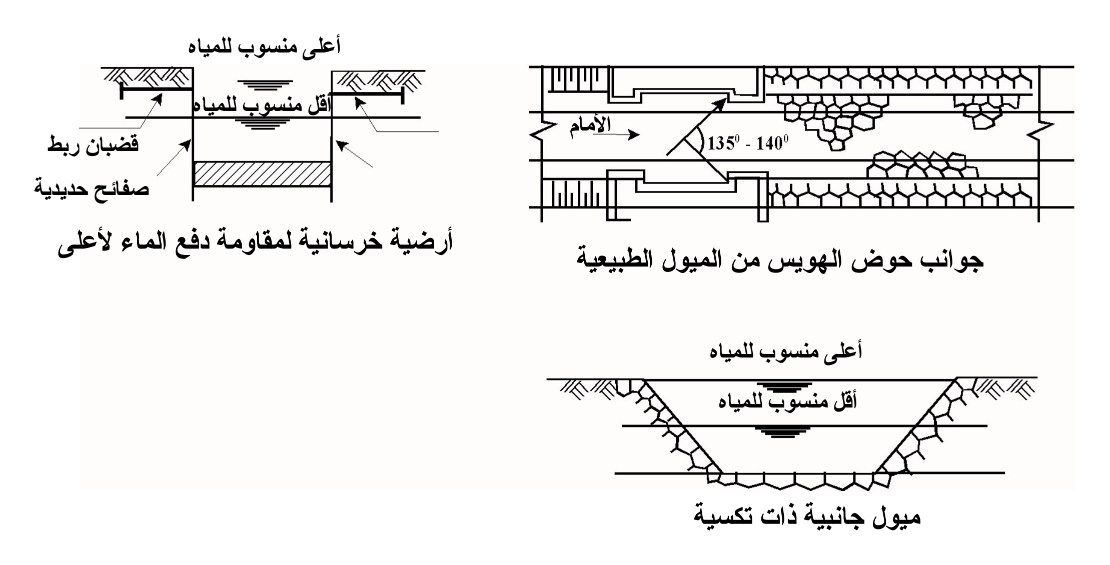
ومن الأفضل أن ينشأ هويس ملاحى واحد طالما أن فرق التوازن فى حدود ٦ متر أما إذا زاد فرق التوازن عن ذلك فيحتاج الأمر إلى سلسلة من الأهوسة المتتابعة يوزع عليها فرق التوازن كما هو موضح بالشكل (٧-١٦). ويلاحظ فى هذه الأهوسة أن البوابات عبارة عن بوابة واحدة بعرض الهويس تنزلق داخل مجرى مستقل فى حالة الفتح التام.



شكل (٧-١١) فتحات جانبية ممتدة حتى الحائط الموجه



شكل (٧-١٢) الفتحات الثانوية الصغيرة من الفتحات الجانبية الرئيسية



شكل (٧-١٣) حوض الهويس

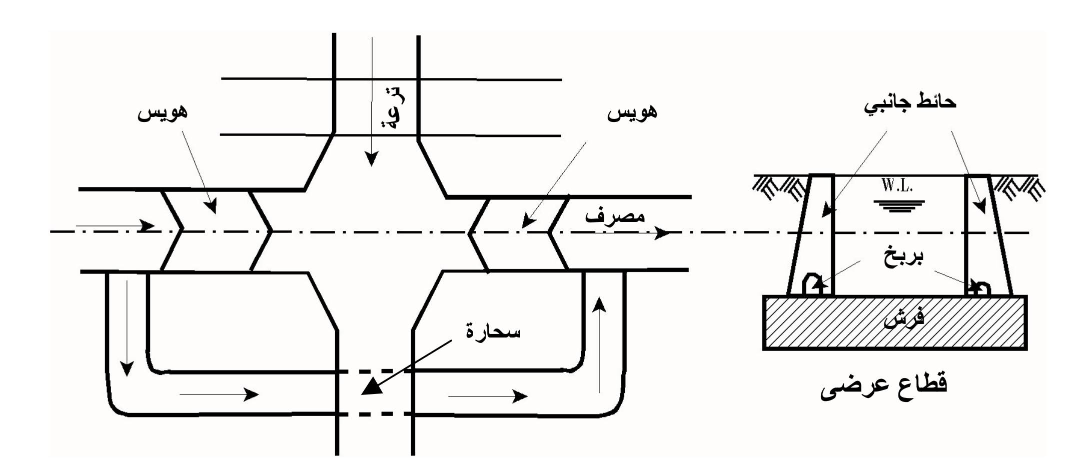
٧-٧-٢ حوض الهويس وأرضيته

٧-٧-٢-١ حوض الهويس

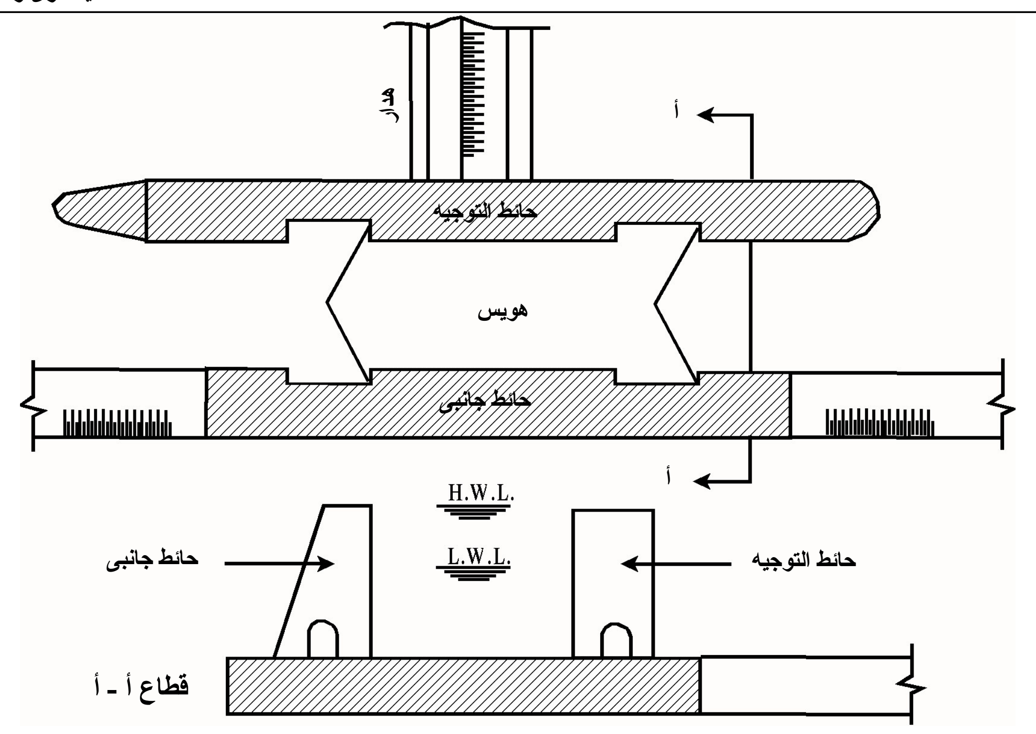
لتحديد الأبعاد الداخلية لحوض الهويس يتم الرجوع إلى البند ٧-٥ . وفيما يلى المقاسات الشائعة لحوض الهويس للمجارى المائية المختلفة بمصر كل على حسب درجته ملاحيا وكذلك عمق المياه اللازم للملاحة الآمنة.

مقاسات الأهوسة الشائعة بمصر

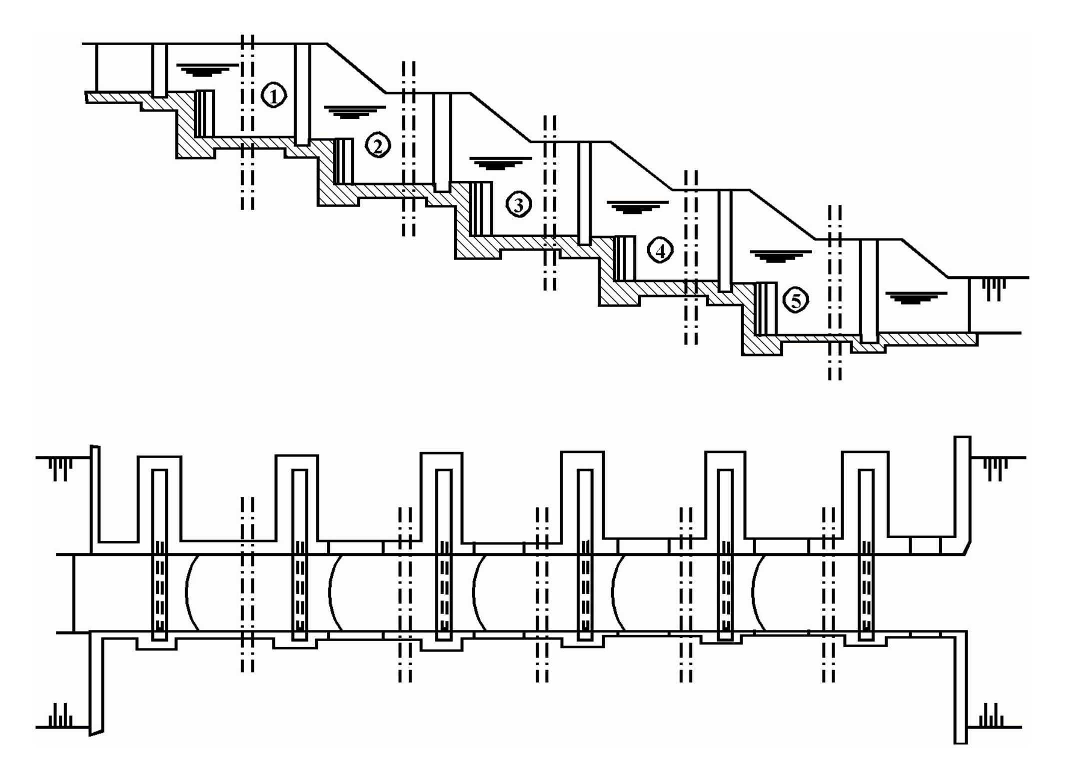
المجرى الملاحي	الطول بالمتر	العرض بالمتر	أقل عمق للمياه بالمتر
للترع الصغيرة	٢٥	٦	١,٢٥
الترع المتوسطة	٤٠	٨	١,٥٠
للترع الكبيرة	٥٥	٩	١,٧٥
للرياحات	٥٥	١٢	٣,٠٠
للنهر وفم الرياحات	٨٠	١٦	٣,٥٠
لخدمة الفنادق العائمة بالنيل	١٥٠	١٧	٤,٠٠



شكل (٧-١٤) هويس متماثل



شكل (٧-١٥) هويس غير متماثل



شكل (٧-١٦) سلسلة أهوسة موزع عليها فرق التوازن

٧-٧-٢-٢ الأنواع الأساسية لأرضية الهويس

هناك طريقتان أساسيتان يمكن إتباع إحداهما عند تصميم أرضية الهويس :
١- أن يكون لحائطى الهويس أساسات مستقلة عن الأرضية كما هو موضح بالشكل (٧-١٧-أ).
٢- أن تعمل أرضية الهويس كأساس مشترك لحائطيه (شكل ٧-١٧- ب).

وفى الحالة الأولى تكون أساسات الحوائط إما من الأحجار أو الخرسانة بحيث تتحمل الضغط المائى بينما تعمل أرضية الحوض من التكسية الحجرية أو بلاطة خرسانية مستقلة بحيث لا تسمح بتخلخل الحبيبات الصغيرة للتربة التحتية مع مسار تسرب المياه تحت تأثير الضاغط المائى. لذلك يوضع صفان أو أكثر من الستائر الحديدية القاطعة للمياه على زوايا قائمة مع محور الهويس لزيادة طول مسار التسرب الناتج من الضاغط المائى بالأمام والخلف. وقد تستعمل هذه الستائر أيضا لزيادة قوة تحمل التربة أسفل أساسات الحوائط.

أما فى الحالة الثانية فيتم فرض سمك للأرضية ثم تجرى الحسابات والتحليلات لتحديد مدى ملاءمة هذا السمك للضغوط والعزوم. ويمكن الإستعانة بالمعادلة التقريبية التالية ليكون السمك المفروض أقرب ما يمكن للسمك المطلوب :

$$h = a\sqrt{d} \qquad (7\text{-}6)$$

حيث
h = السمك المفروض بالمتر
d = إرتفاع حائط الهويس فوق أرضيته بالمتر

وتتوقف قيمة المعامل (a) على عرض الهويس فيؤخذ ٠,٧٠ متر للأهوسة الصغيرة العرض ، ٠,٨٠ متر للأهوسة متوسطة العرض ويؤخذ ٠,٩٠ متر للأهوسة كبيرة العرض.

وهناك معادلتان أخريان يمكن إستعمالهما أيضا للإستعانة فى فرض السمك h لتضييق الفرق بين السمك المفروض والسمك المطلوب

$$h = 0.55\sqrt{d} + \frac{d_1}{8} \qquad (7\text{-}7)$$

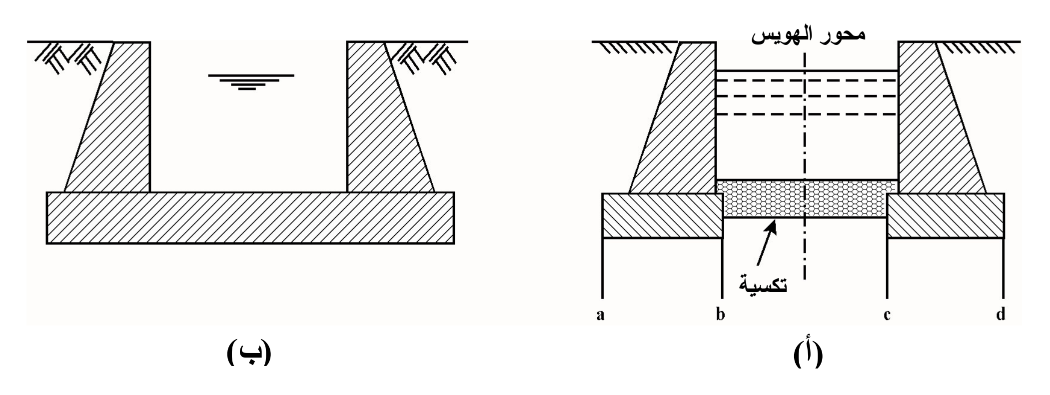
حيث
d_1 = عمق المياه فى حوض الهويس بالمتر

$$h = \frac{d}{2.7\sqrt{1 + 0.9\,\frac{d}{w}}} \qquad (7\text{-}8)$$

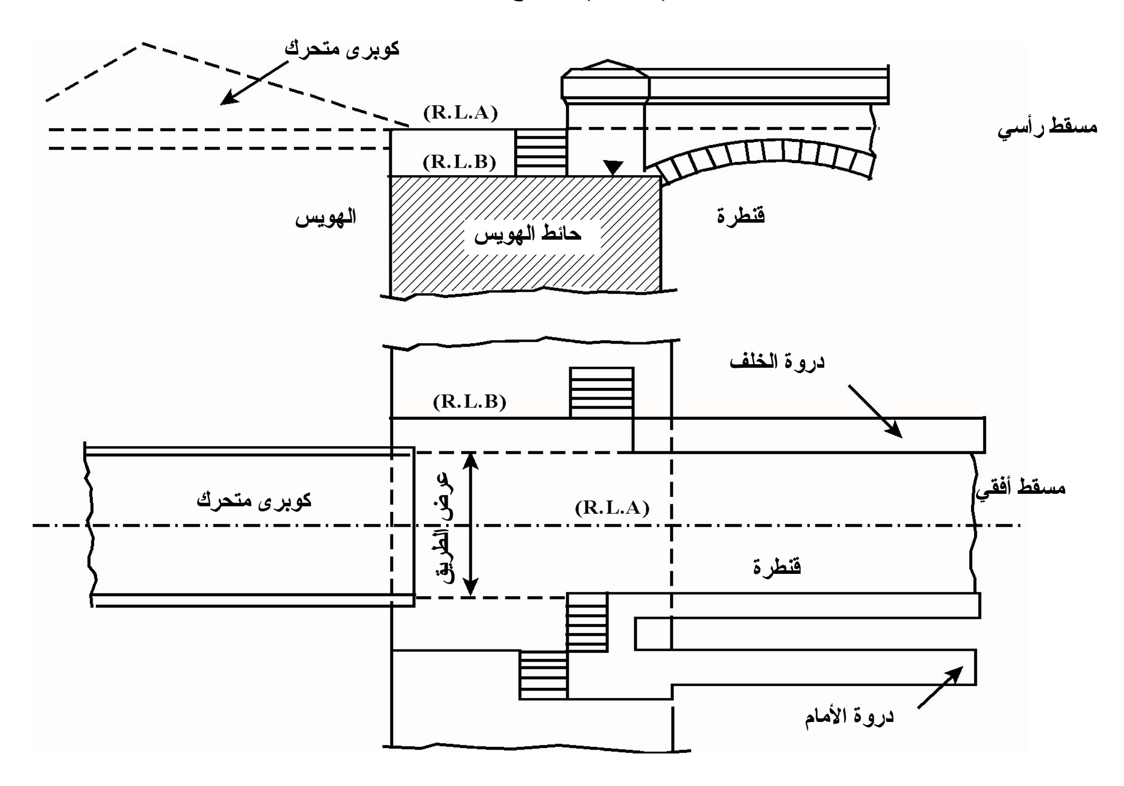
حيث
w = عرض الهويس بالمتر

٧-٧-٣ إرتفاع حائطى الهويس

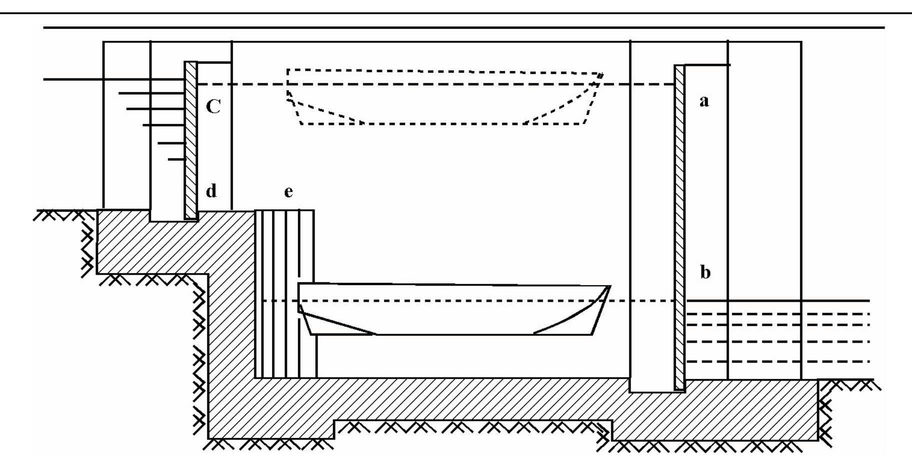
يجب أن يكون منسوب أعلى حائطى الهويس أكبر من أقصى منسوب للمياه بالأمام بما لا يقل عن ١,٠ متر مع ملاحظة أنه يجب إحترام منسوب الطريق فوق القناطر عند تحديد إرتفاع حائطى الهويس لضمان المرور فوق كوبرى الهويس الذى غالبا ما يكون مرتكزا على الحوائط (شكل ٧-١٨). ولتقليل إرتفاع بوابات الهويس الأمامية cd ، فيمكن تعلية أرضية الهويس تحت تلك البوابات بالمسافة ef للإستفادة من الفرق فى المناسيب بين دخول وخروج الوحدات للحوض (شكل ٧-١٩). وهذا الإجراء يستخدم عند تصميم بوابات الهويس الأمامية فقط بينما تبقى البوابات الخلفية معرضة لفرق المناسيب بين الأمام والخلف وتحتاج لعناية خاصة عند التصميم.



شكل (٧-١٧) أنواع أرضية الهويس



شكل (٧-١٨) إرتفاع حائطى الهويس



شكل (٧-١٩) تقليل إرتفاع بوابات الهويس

٧-٧-٤ حائطا الهويس غير المتماثل

يتوقف قطاع حائطى الهويس غير المتماثل على نوع ونظام طريقة ملء وتفريغ الحوض. ففى حالة ملء وتفريغ الهويس بالطريقة المباشرة (بند ٧-٦-٢-أ) يصمم حائط الهويس الملامس للتربة (Landing Wall) على أنه حائط ساند عادى مع الأخذ فى الإعتبار الضغوط المائية بجانب ضغوط التربة. ويتراوح سمك قاعدة الحائط فى هذه الحالة من ٥٠ % إلى ٦٠ % من الإرتفاع على أن يكون السطح الملامس للتربة إما مائلا بنسبة ١ أفقى : ٤ رأسى أو على هيئة مدرجات ، بينما يتراوح عرض الحائط من أعلى بين ٢٥ % إلى ٣٠ % من إرتفاعه مع ملاحظة إعطاء العناية الكافية لتصميم الجزء من الحائط الذى يركب فيه البوابات (Thrust Wall) والذى يتحمل الضغوط المختلفة أثناء قفل وفتح بوابات الهويس فيكون قطاعه مستطيلا دون ميول بسمك يساوى تقريبا ٥٠ % من إرتفاع الحائط.

أما بالنسبة لحائط الدليل (Guide Pier) المجاور لفتحات القناطر فيكون إرتفاعه هو نفسه إرتفاع الحائط الساند للتربة إلا أن قاعدته يمكن أن تكون أقل فى العرض إذا ما تم إنشاء بربخ الملء والتفريغ خارج الحائط.

٧-٧-٥ إتزان الحائط الساند (Landing Wall)

أ- حالة برابخ الملء والتفريغ خارج الحائط

يراعى فى هذه الحالة أن يتم التأكد من إتزان الحائط مع الأخذ فى الإعتبار الوضع أثناء التشغيل وفيه يتعرض الحائط إلى ضغط المياه الأرضية (Ground Water) بينما المياه داخل حوض الهويس أقل ما يمكن أو أثناء الصيانة والإصلاح والذى يكون الهويس فيه خاليا من المياه.

ب- حالة برابخ الملء والتفريغ بطول الحائط وداخله

١- عندما تكون النسبة بين عرض البربخ إلى سمك الحائط من أسفل أقل من النصف أى $\frac{b}{B}$ أقل من ٠,٥٠ (شكل ٧-٢٠-أ) ، فتحسب الإجهادات على المساحة الصافية للسمك السفلى كقطاع واحد من المعادلة :

$$f = -\frac{N}{A} \pm \frac{M\,y}{I} \qquad (7\text{-}9)$$

حيث

N = المركبة الرأسية لمحصلة القوى الواقعة على المتر الطولى من الحائط (R)

A = المساحة الصافية للقطاع = ١ x (B – b)

M = عزم الإنحناء الناتج عن لا محورية المركبة الرأسية N بالنسبة لمركز قطاع الحائط السفلى بالإضافة إلى عزوم الإنحناء الناتجة عن ضغوط الأتربة والمياه

I = عزم القصور الذاتى للقطاع الصافى = $(\frac{B^3 - b^3}{12})$

٢- عندما تكون النسبة $\frac{b}{B}$ أكبر من ٠,٥٠ (شكل ٧-٢٠ - ب) فإن توزيع الإجهادات على القطاع الأفقى أسفل الحائط يتم حسابها بتقسيم القطاع إلى مقطعين منفصلين على جانبى البربخ ويقاوم كل مقطع القوى الواقعة عليه كما بالشكل (٧-٢٠ – ب).

٧-٧-٦ إتزان حائط التوجيه (Guide Pier)

أ- حالة الهويس جاف للإصلاح

فى هذه الحالة تكون القوى المؤثرة على الحائط مكونة من وزنها والضغط المائى الجانبى الخارجى شكل(٧-٢١ – أ). ويجعل محصلة القوى المؤثرة على الحائط تقع فى الثلث الأوسط لقطاع أسفل الحائط فإنه يمكن الحصول على العرض B لتحقيق الإتزان للحائط.

ب- حالة الهويس أثناء التشغيل العادي

فى هذه الحالة تكون القوى المؤثرة على الحائط مكونه من وزنها وضغط المياه داخل الهويس (أقل منسوب خلفي) وضغط المياه خارج الهويس (أقصى منسوب أمامي) كما هو موضح بالشكل (٧-٢١ – ب). ويتم حساب B كما فى الحالة (أ) السابقة ويؤخذ أكبر القيمتين المحسوبتين من الحالتين أ ، ب لتكون هى البعد التصميمى B .

٧-٧-٧ القوى المؤثرة على الجزء من حائط الهويس المعرض لضغوط البوابات (Thrust Wall)

يكون سمك هذا الجزء من الحائط أكبر قليلا من سمك أسفل باقى أجزاء الحائط بحوالى ٠,٥٠ متر. وطول الجزء الأمامى منه يتحدد بزاوية قدرها ٤٥° بينما يتحدد طول الجزء الخلفى منه والمثبت فيه محور دوران البوابات بزاوية قدرها ٣٠° (شكل ٧-٢٢).

ويتعرض هذا الجزء إلى القوى التالية :

- ضغط الأتربة والمياه الجوفية فى حالة الحائط الساند (Landing Wall) فى الأهوسة المتماثلة وغير المتماثلة بالإضافة إلى وزن الحائط.
- ضغط المياه من كلا الجانبين فى حالة الحائط الموجه (Guide Pier) فى الأهوسة غير المتماثلة بالإضافة إلى وزن الحائط.
- القوى الناتجة عن تثبيت البوابات ، وهناك حالتان مختلفتان :

أ- أثناء التشغيل (شكل ٧-٢٣) وتعد أحرج الحالات التى يمكن أخذها فى الإعتبار وفيها يوصى بإهمال ضغط الأتربة خلف الحائط ، إعتبار أقصى منسوب للمياه بالأمام ليعطى أكبر الضغوط على الحائط عندما تكون البوابات مغلقة ، إعتبار أقل منسوب للمياه داخل حوض الهويس ، إعتبار وزن البوابة وضغط المياه أسفلها ، الشد والضغط الناتجين عن وزن البوابة وضغط المياه أسفلها ويمكن حسابهما كما يلى (شكل ٧-٢٣) :

$$T = C = \frac{(G - U)\, a}{h} \tag{7-10}$$

حيث

T = الشد الأفقى عند التثبيت العلوى للبوابة

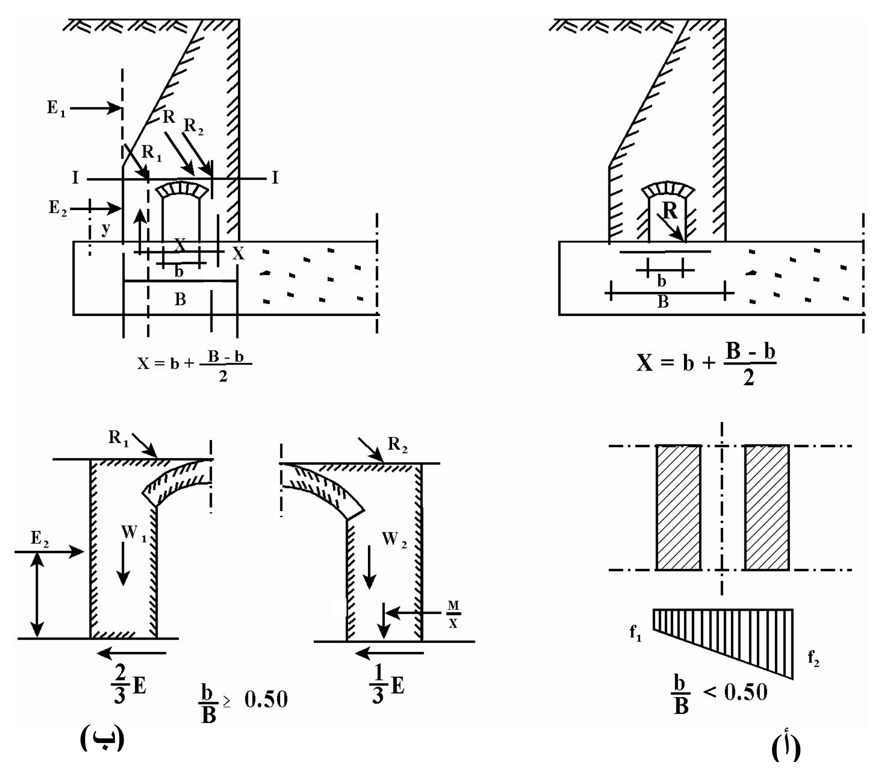
C = الضغط الأفقى عند المفصلة السفلية للبوابة

G = وزن البوابة

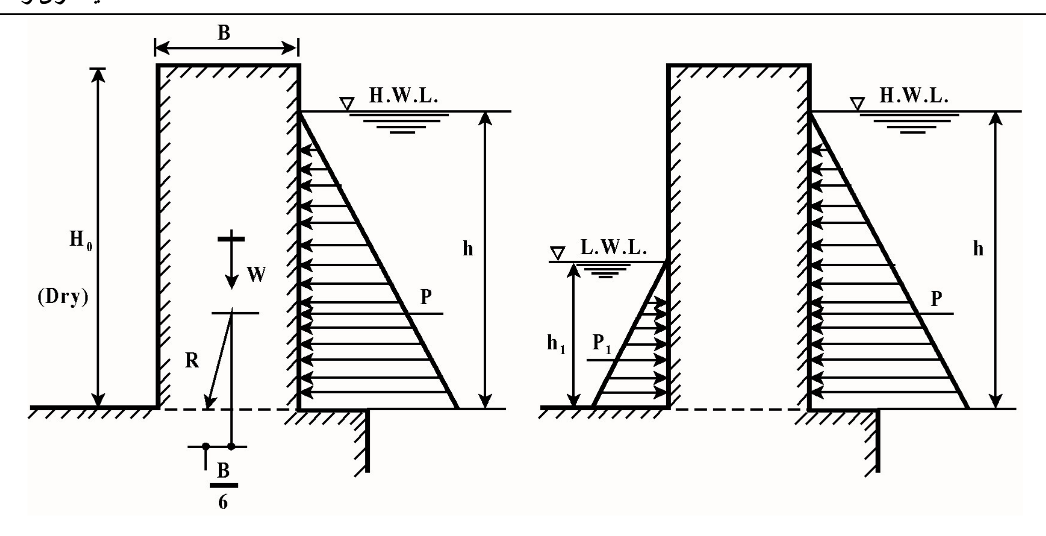
U = ضغط المياه أسفل البوابة لأعلى

ويلاحظ أن قيمة T تكون أقل ما يمكن عندما تكون البوابة مفتوحة وأكبر ما يمكن عندما تكون البوابة مغلقة.

ب- أثناء الإصلاح أو الترميم (شكل ٧-٢٤) وفى هذه الحالة يكون حوض الهويس جافا والبوابات فى وضع ينتج عنه أقصى عزوم تحدث إنقلابا لهذا الجزء من الحائط المثبت به البوابات (Thrust Wall) تجاه الحوض من الداخل بالنسبة لوزنه.

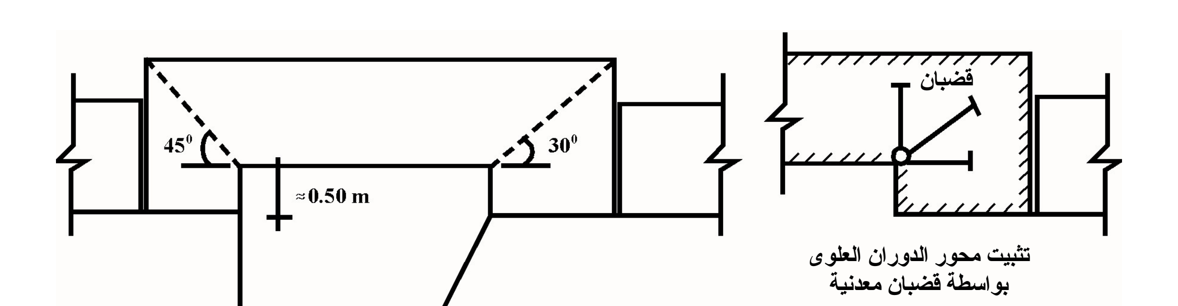


شكل (٧-٢٠) إتزان الحائط الساند

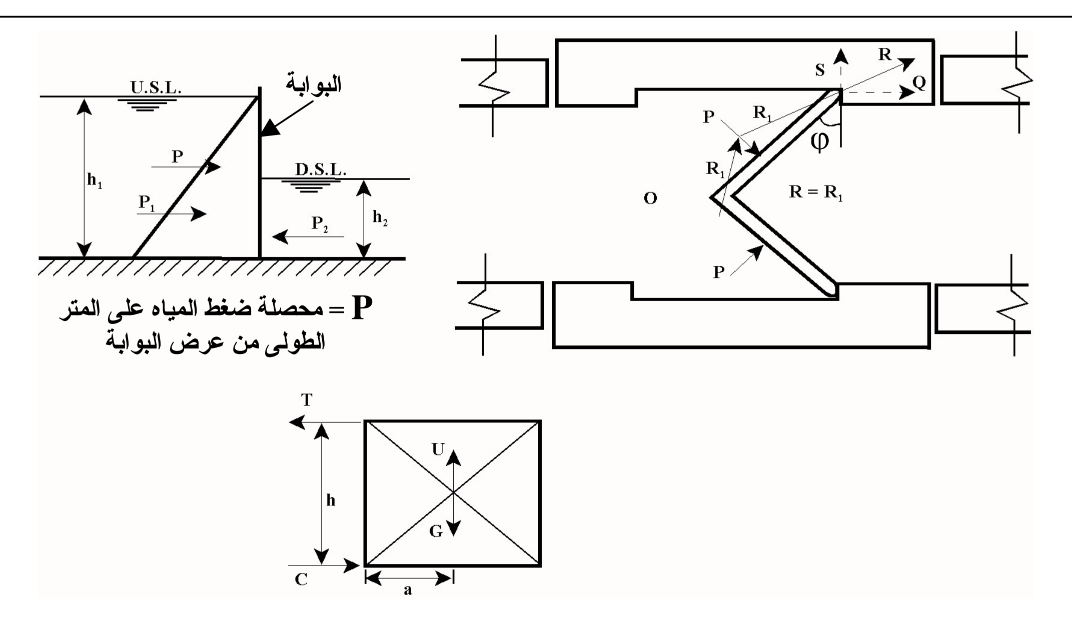


(ب) أثناء التشغيل (أ) أثناء الإصلاح

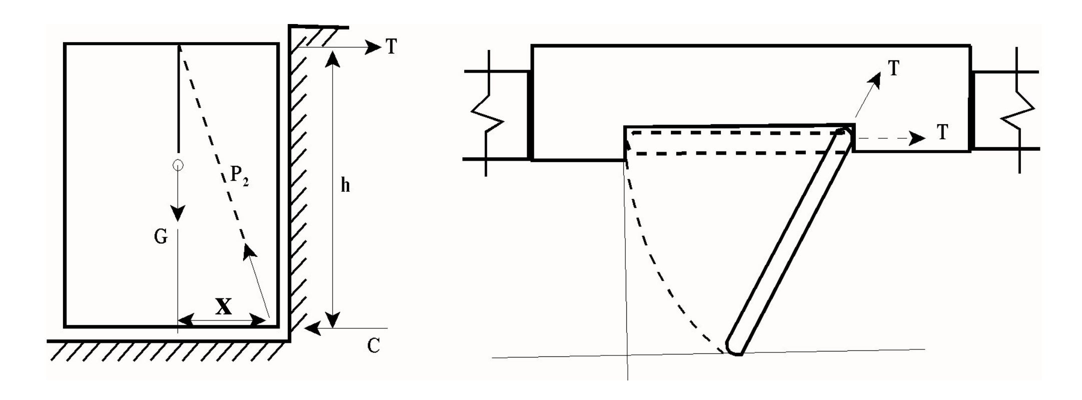
شكل (٧-٢١) إتزان حائط التوجيه



شكل (٧-٢٢) حائط تثبيت البوابات



شكل (٧-٢٣) القوى الناتجة من تثبيت البوابات (أثناء التشغيل)



شكل (٧-٢٤) القوى الناتجة من تثبيت البوابات (أثناء الإصلاح)

٧-٧-٨ تحليل الضغوط المختلفة على أرضية الهويس

القطاع الحرج لأرضية الهويس يقع عند محور الهويس.

٧-٧-٨-١ حالات التحميل على أرضية الهويس المتماثل

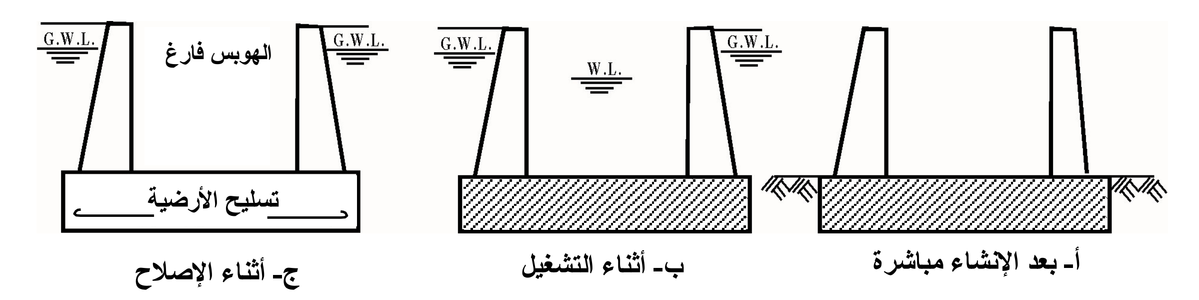
أ- بعد الإنشاء مباشرة : الهويس جاف ولا يوجد ضغط مائى من أسفل إلى أعلى (Uplift) أو ضغط مائى على الجانبين (شكل ٧-٢٥ – أ) . وفى هذه الحالة يكون هناك إحتمال حدوث إجهادات شد على السطح العلوى للأرضية عند محور الحوض وقبل ردم الأتربة خلف الحوائط. وعليه فيوصى بالردم خلف الحوائط تدريجيا أثناء بنائها وذلك لضمان أنه بمجرد الإنتهاء من بناء الحوائط يكون تأثير الأتربة خلفها نشطا وبذلك لا تتأثر أرضية الهويس بحدوث شروخ بالسطح العلوى نتيجة إجهادات الشد.

ب- أثناء التشغيل (شكل ٧-٢٥ – ب) : ويتعرض الهويس فى هذه الحالة إلى ضغط الأتربة خلف الحوائط وكذلك ضغط المياه الأرضية (Ground Water) مع الأخذ فى الإعتبار مناسيب المياه المختلفة داخل حوض الهويس.

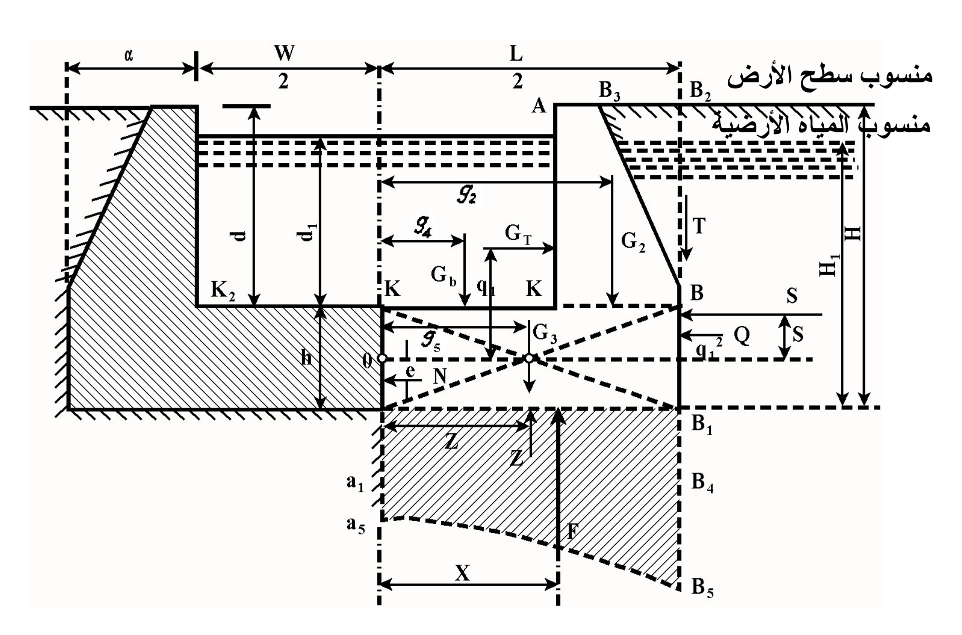
ج- أثناء الإصلاح (شكل ٧-٢٥ – ج) : وفى هذه الحالة يكون حوض الهويس جافا مع تواجد ضغط الأتربة خلف الحوائط وكذلك أقصى منسوب للمياه الأرضية.

وعموما فإن القوى المؤثرة على أرضية الهويس المتماثل هى تلك القوى الموضحة بالشكل (٧-٢٦) حيث:

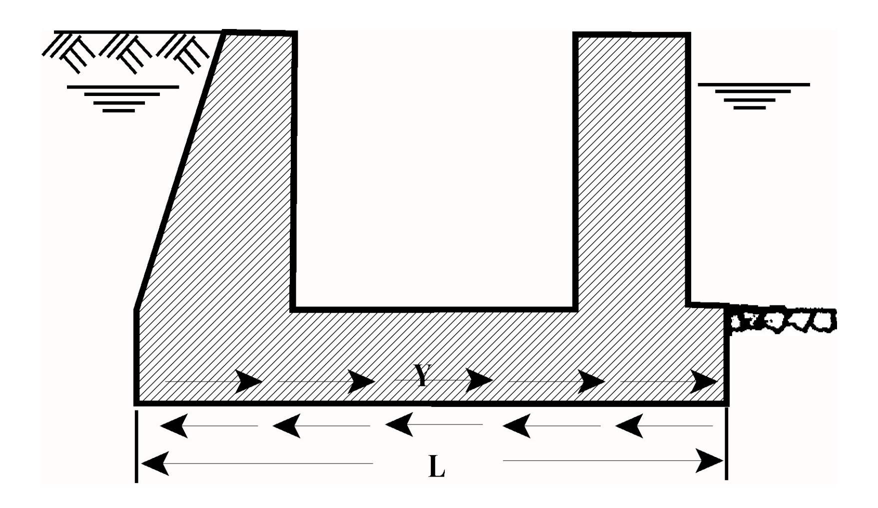
G_2 = وزن الحائط والأتربة فوقه
S = محصلة ضغط الأتربة
Q = محصلة ضغط المياه الأرضية
T = قوى الإحتكاك
G_3 = وزن أرضية الهويس
Q_1 = ضغط المياه داخل حوض الهويس على الحائط
Q_4 = وزن المياه داخل حوض الهويس
Z = ضغط المياه العلوى أسفل الأرضية (Uplift)
F = رد الفعل العلوى للأتربة أسفل الأرضية



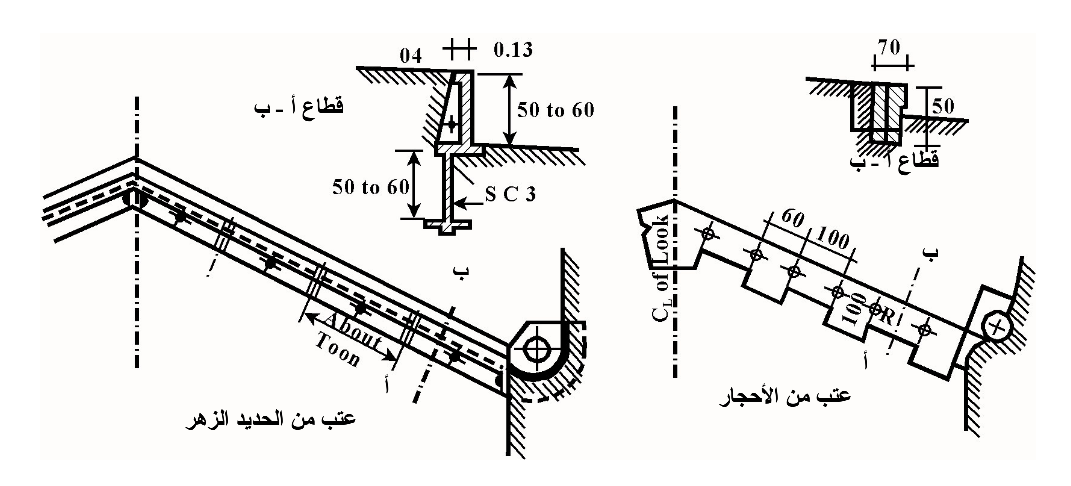
شكل (٧-٢٥) حالات التحميل على أرضية الهويس المتماثل



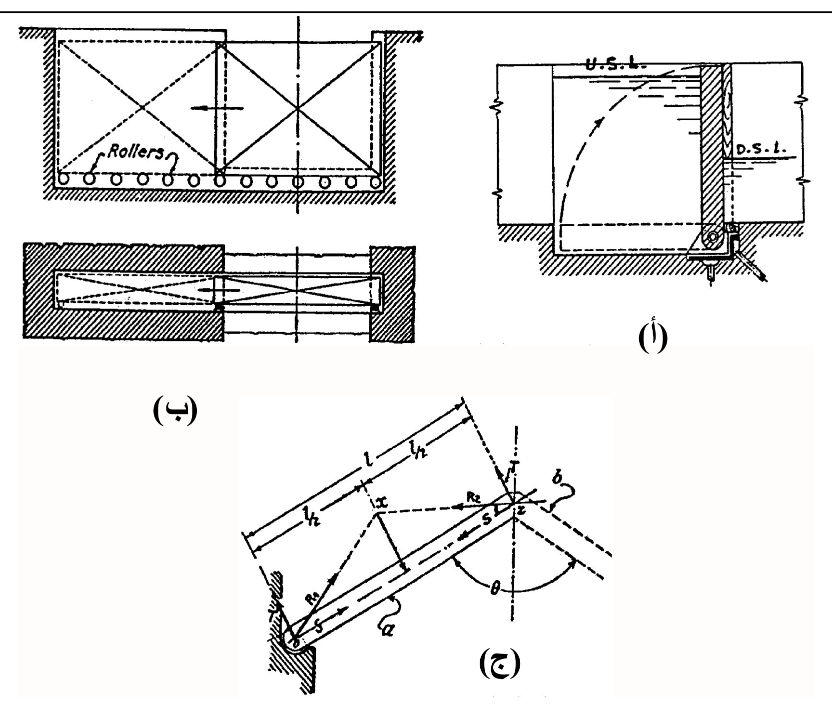
شكل (٧-٢٦) القوى المؤثرة على أرضية الهويس المتماثل



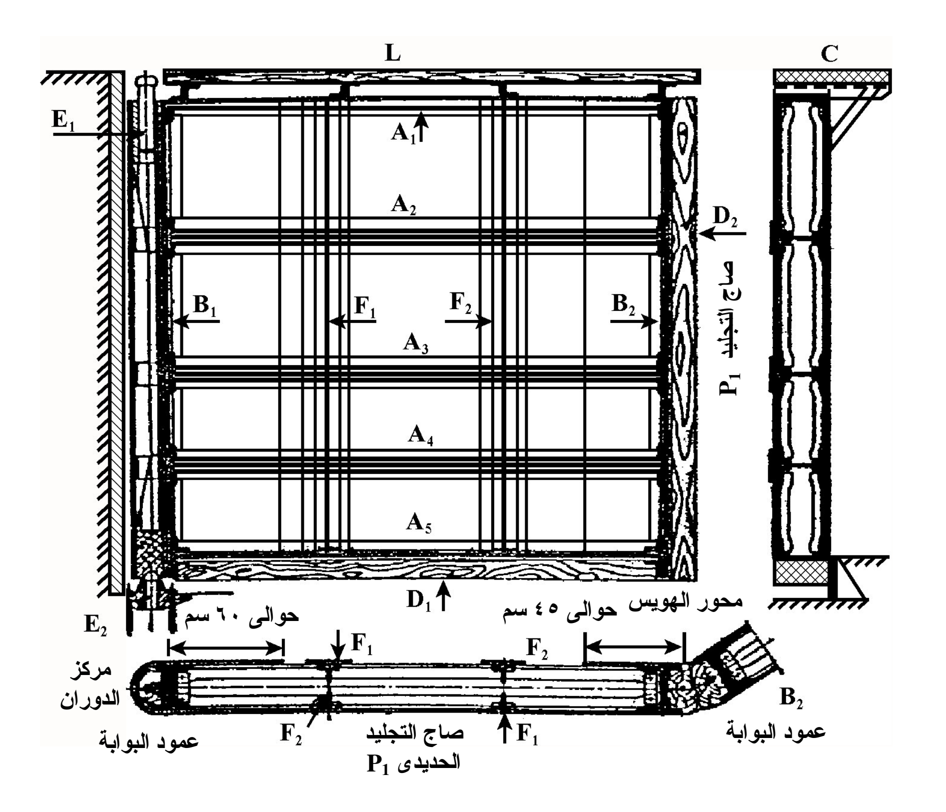
شكل (٧-٢٧) قوى الإحتكاك الأفقية المؤثرة على أرضية الهويس غير المتماثل



شكل (٧-٢٨) عتب أسفل البوابات



شكل (٧-٢٩) أنواع بوابات الهويس



شكل (٧-٣٠) مكونات البوابة المروحية للهويس

٧-٧-٨-٢ أرضية الهويس غير المتماثل

هناك قوى أخرى يجب إضافتها فى هذه الحالة إلى القوى المذكورة فى البند (٧-٧-٨-١) من أهمها قوى الإحتكاك بين السطح السفلى لأرضية الهويس والتربة أسفلها لتكافئ الفرق بين القوى الأفقية الناتج من عدم التماثل (شكل ٧-٢٧). وللأغراض الحسابية يمكن إفتراض أن قوى الإحتكاك موزعة بإنتظام على عرض الهويس (L) .

٧-٧-٨-٣ العتب المشطوف من الأحجار المنحوتة أو الحديد الزهر

يجب أن تكون أرضية الهويس عند الجزء الذى تتحرك فيه البوابات (Gate Recess) أوطى من أرضية باقى الحوض وذلك لتوفير عتب (Sill) لترتكز عليه الكمرة المعدنية السفلية للبوابة عندما تكون مغلقة. وعادة ما يتراوح إرتفاع هذا العتب بين ٠,٤٠ - ٠,٦٠ متر ويتوقف هذا الإرتفاع على حجم الهويس. والشكل (٧-٢٨) يوضح كلا من العتب الحديد الزهر والعتب من الحجر المنحوت الشائع إستعمالهما.

٧-٧-٨-٤ أرضية الهويس من الخرسانة المسلحة

أحيانا ما تنفذ أرضية الهويس من الخرسانة المسلحة وخاصة فى الأهوسة ذات العرض الكبير بغية الإقلال من سمك الأرضية المطلوب فى حالة عدم تسليحها وكذلك لمقاومة إجهادات الشد على الأرضية. وفى هذه الحالة إما أن تبنى الحوائط الجانبية من الخرسانة العادية أو من الخرسانة المسلحة.

٧-٨ تصميم البوابات المروحية اللازمة لفتح وقفل حوض الهويس

٧-٨-١ عام

توجد أنواع متعددة لبوابات الهويس تختلف حسب طرق تشغيلها ، ومن هذه الأنواع :

١- البوابات الهابطة (Falling Gates) شكل (٧-٢٩ – أ).
٢- البوابات المنزلقة (Rolling Gates) شكل (٧-٢٩ – ب).
٣- البوابات المروحية ذات الضلفتين (Double-Leaf Mitring Swing Gates) شكل (٧-٢٩- ج).

٧-٨-٢ العناصر الأساسية لمكونات البوابة المروحية

العناصر الأساسية لمكونات البوابة الحديدية الشائع إستعمالها فى الأهوسة ذات المقاسات النمطية هى كما هو مبين بالشكل (٧-٣٠) وبيانها التالى :

١- صاج التجليد الحديدى P_1 ويفضل تثبيته بالجهة الأمامية للبوابة.
٢- الكمرات الرئيسية (Main Girders) A_1, A_2, A_3, A_4 & A_5 لإرتكاز صاج التجليد الحديدي. وهذه الكمرات إما أن تكون أفقية كالمعتاد وكما هو مبين بالشكل (٧-٣٠) أو أن تكون رأسية وهى حالة نادرة وتستخدم فقط فى البوابات القصيرة الإرتفاع ذات العرض الكبير. ويلاحظ أن الكمرة السفلية A_5 ترتكز على العتب عندما تكون البوابة مغلقة. وتزود هذه الكمرة بمخدة خشبية D_1 لتقليل الجزء المائى بين العتب والبوابة وكذلك لإمتصاص تأثير الدفع على العتب أثناء الإرتكاز. وتحمل الكمرة العليا A_1 الممشى C وأوناش فتح وقفل الفتحات التى قد توجد فى البوابة.
٣- عمود البوابة القريب من مركز الدوران B_1 (Heel Post) ، وعمود البوابة عند إلتقائها بالأخرى B_2 (Mitre Post) . ويحمل عمود الإلتقاء لكل بوابة مخدة خشبية رأسية D_2 على أن تتلامس المخدتان الخشبيتان الرأسيتان تماما عندما تغلق البوابتان وذلك لإمتصاص تأثير دفع الإلتقاء عند الإغلاق وتوزيع الضغوط من بوابة على الأخرى بالتساوى ولمنع تسرب المياه بين

البوابتين عند سطح التلامس. ويجب أن تثبت الكمرات الأفقية تثبيتا جيدا بالأعمدة الرأسية لنقل القوى المؤثرة على الدعامات إلى تلك الأعمدة. كما يجب أن تقوى البوابة بشدادات (Counterbraces) F_1, F_2 .

٤- محورا دوران البوابة العلوى والسفلى E_1, E_2 وأجزاء الدوران الدائرية والتى تكون مع بعضها إرتكازا لمحورى الدوران.

٧-٨-٣ تصميم صاج التجليد الحديدى

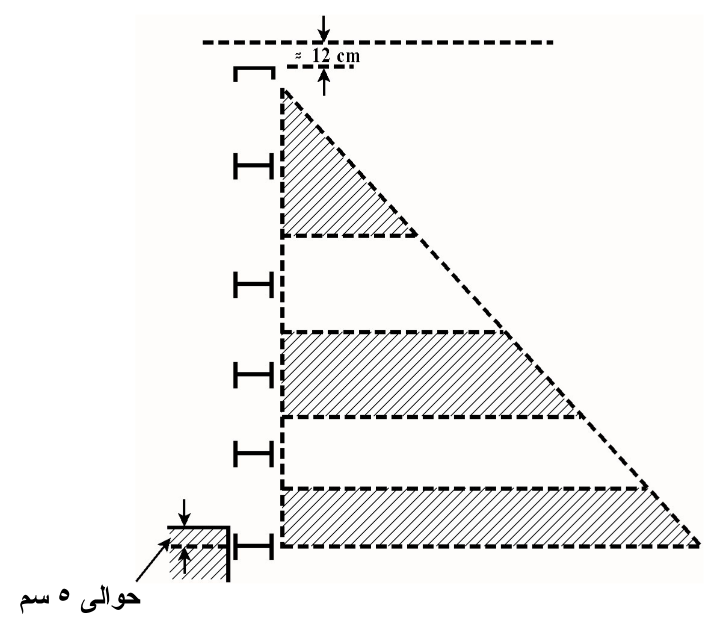
يغطى صاج التجليد الجانب الأمامى من البوابة بأكمله وعند إقترابه من عمود الدوران يلف حوله ليغطى جزءا من الخلف بطول حوالى ٦٠ سم (شكل ٧-٣٠). والسمك القياسى للصاج المستخدم فى البوابات النمطية حوالى ٠,٨ سم على أن يراعى ألا يقل هذا السمك عن ١,٠ سم فى الجزء السفلى من البوابة التى يزيد إرتفاعها عن ٥ متر. ويجب أن تراجع هذه المقاسات عن طريق الحسابات التصميمية. ومن الناحية العملية فيجب تجليد الوجه الخلفى للبوابة عند عمود إلتقائها بالبوابة الأخرى بشريحة رأسية عرضها حوالى ٠,٤٥ سم (شكل ٧-٣٠).

٧-٨-٤ تصميم الكمرات الأفقية

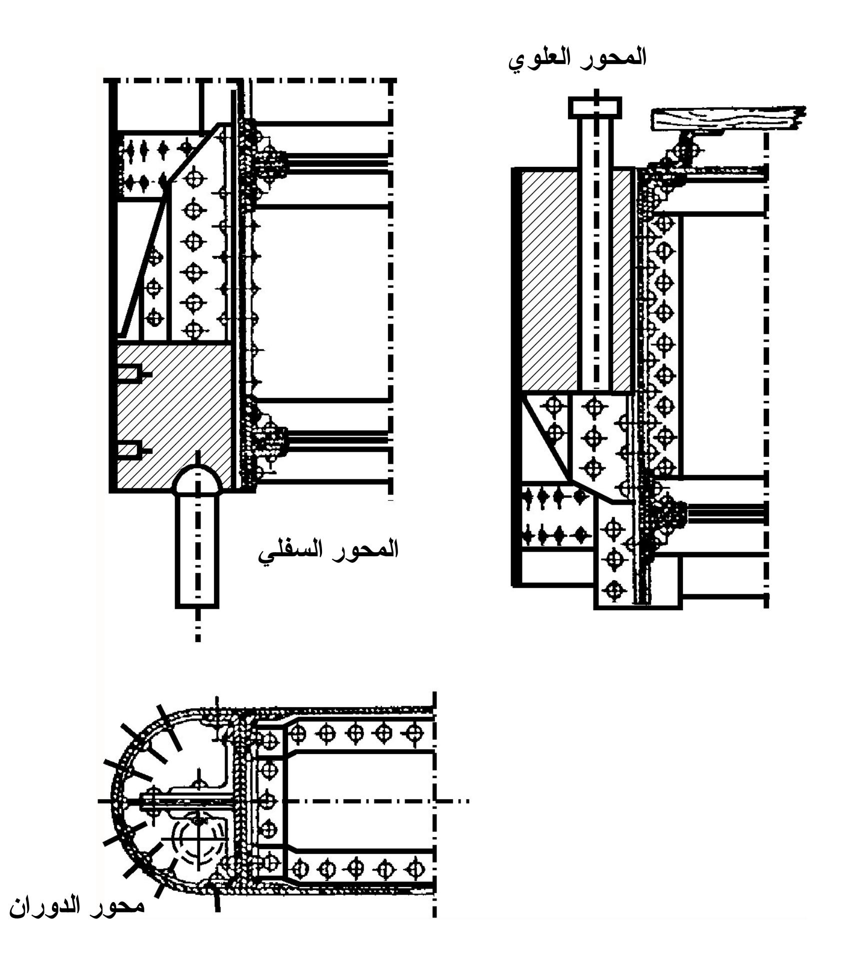
تصمم الكمرات الأفقية من قطاع حديدى مركب عبارة عن عصب (Web) بسمك ١ سم وأربعة زوايا بقطاع ٧٥ x ٧٥ x ١٠ مم أو ١٠٠ x ١٠٠ x ١٢ مم وذلك لبوابات الأهوسة النمطية. ويتراوح عمق الكمرات ما بين ١٢/١ إلى ١٤/١ من طولها. ويجب تحقيق هذه المقاسات الإسترشادية بعمل الحسابات التصميمية بحيث تقاوم الإجهادات الواقعة على هذه الكمرات مع مراعاة أن توضع الكمرات على مسافات بحيث تتساوى الضغوط على كل منها على ألا تزيد المسافة بين كل كمرة وأخرى عن ١,٢ متر. وفى حالة البوابات المزودة بفتحات للمساعدة فى ملء وتفريغ حوض الهويس يجب أن تكون المسافات بين الثلاث كمرات السفلية فى حدود ٠,٦٠ - ٠,٧٠ متر ثم يتم تحديد مواقع الكمرات الأخرى بحيث تزداد المسافة بين كل كمرة وأخرى بالتدريج فى الإتجاه من أسفل إلى أعلى (شكل ٧-٣١). وبعد تحديد أماكن الكمرات الافقية يتم حساب الضغط الواقع على كل كمرة من دياجرام الضغط الهيدروستاتيكى ومنه تحسب إجهادات الضغط القصوى على الوحدة الطولية ثم تصمم بالطرق المعروفة فى ميكانيكا الإنشاءات. وليس من الضرورى أن تكون قطاعات الكمرات واحدة إلا أنه يجب ألا يستعمل أكثر من قطاعين مختلفين لجميع الكمرات ويوصى عند التصميم بإهمال ضغط المياه على البوابة من الخلف مع الأخذ فى الإعتبار أقصى ضغط للمياه بالأمام وذلك لمزيد من الأمان فى التصميم.

٧-٨-٥ تصميم عمودى الدوران والإلتقاء

يوضح الشكل (٧-٣٢) التفاصيل الإنشائية لعمود الدوران (Heel Post) وكل من المحورين العلوى والسفلى (Pins) والذى يصل قطر كل منهما إلى حوالى ١٠ سم بينما القطر نصف الكروى (Hemispherical) السفلى الذى يتحرك داخله المحور يصل إلى حوالى ١٣ سم. ويثبت كل محور فى وضعه الصحيح بواسطة كوابيل (Brackets) مكونه من زاويتين ومجموعة من الألواح. ونظرا لأن المحور العلوى لا يتعرض لأى قوى رأسية فإن كابولى التثبيت له يكون أصغر من كابولى تثبيت المحور السفلى ولكن قطاعه أكبر لتعرضه لعزم إنحناء.



شكل (٧-٣١) توزيع الكمرات الأفقية فى البوابات ذات الفتحات



شكل (٧-٣٢) تصميم المحورين العلوى والسفلى لعمودى الدوران والإلتقاء

٧-٩ المراجع

1. El-Kateb, M.H., “Irrigation Design II: Locks and Dams”, clans Notes, Cairo University, Faculty of Engineering, Giza, Egypt, (1984).

2. Novak K.P., Moffat A., Nalluri C. and R. Narayanan, “Hydraulic Structures”, Second Edition, E&FN Spon, London, UK, (1996).

3. Zipparro, V.J. and Hasen, H., (Editor), “Davis Handbook of Applied Hydraulics”. McGraw Hill Book Company. NewYork, USA, (1992).

الباب الثامن
محطات توليد القوى الكهرومائية Hydraulic Power Plants

٨-١ عام

يهدف هذا الباب إلى عرض النظريات الأساسية والأداء الفعلى للآلات الهيدروليكية مع التركيز على الديناميكا المائية لإندفاع المياه فى الآلات التى تدار بالمياه والأداء الهيدروليكى لها.
تنتج الطاقة الكهرومائية من نوعين من المحطات هما :
المائية Hydro والحرارية Thermo وتدار المحطات الحرارية باستخدام الوقود والتوربينات البخارية Steam Turbine حيث يتكون البخار بواسطة الغلايات عن طريق الوقود العادى أو الوقود النووى.

٨-٢ العناصر الرئيسية اللازمة لتوليد قوى كهرومائية

- السقوط المائى.
- المحطة وعليها المولد.
- التوربينات.

والشكل (٨-١) يوضح فواقد الطاقة Energy Losses فى العناصر الرئيسية لمحطات توليد القوى الكهرومائية حسب ما يلى :-

- الفواقد فى القناة نتيجة لفواقد الإحتكاك Friction in Canal

$$\left(h_1 = C_1 \frac{v_1^2}{2g}\right) \qquad (8\text{-}1a)$$

- الفواقد فى مدخل قناة التوصيل Entrance to Penstock

$$\left(h_2 = C_2 \frac{v_2^2}{2g}\right) \qquad (8\text{-}1b)$$

- الفواقد فى قناة التوصيل نفسها Penstock

$$\left(h_3 = C_3 \frac{v_3^2}{2g}\right) \qquad (8\text{-}1c)$$

- الفواقد فى غلاف التوربين Turbine Casing

$$\left(h_4 = C_4 \frac{v_4^2}{2g}\right) \qquad (8\text{-}1d)$$

- الفوافد فى التوربين نفسه Turbine

$$(h_5 = C_5 \frac{V_5^2}{2g}) \qquad (8\text{-}1e)$$

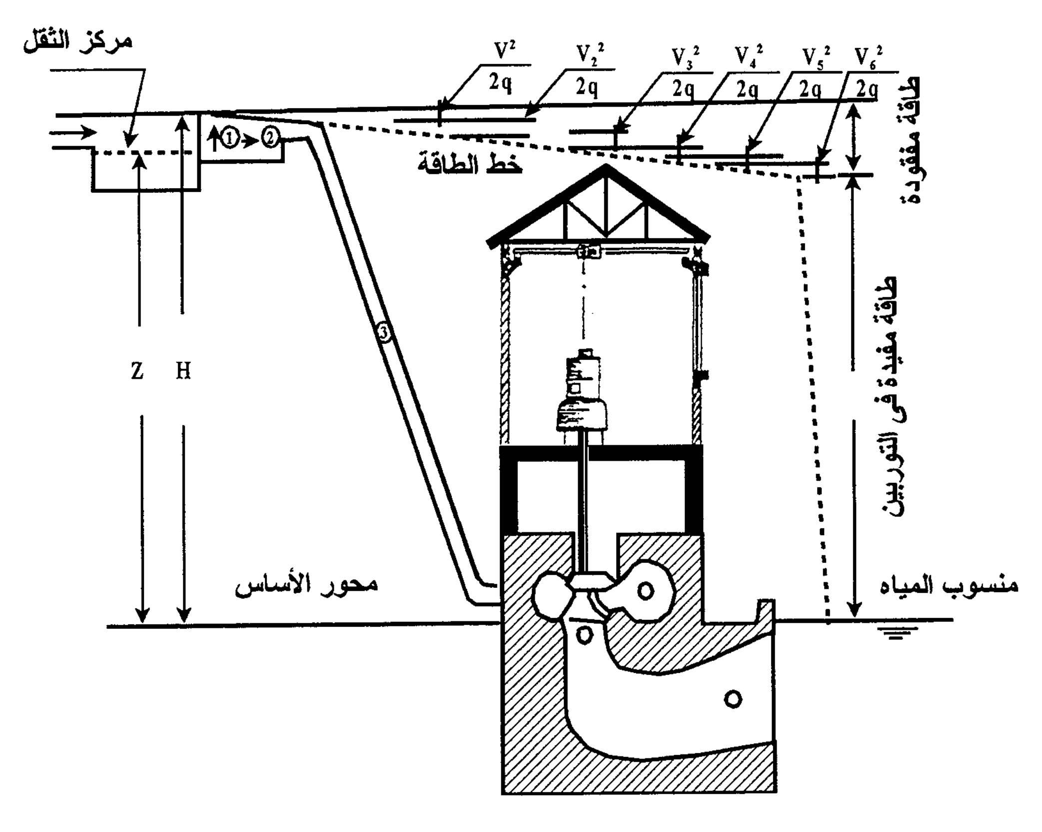
- الفواقد فى أنبوب السحب Draft Tube

$$(h_6 = C_6 \frac{V_6^2}{2g}) \qquad (8\text{-}1f)$$

حيث

V_1 ، V_2 ، V_6... هى سرعة المياه فى الأجزاء المختلفة.

C_1 ، C_2 ، C_6... ثوابت يتم تعيينها.



شكل (٨-١) علاقة الطاقة والفواقد فى محطة كهرومائية

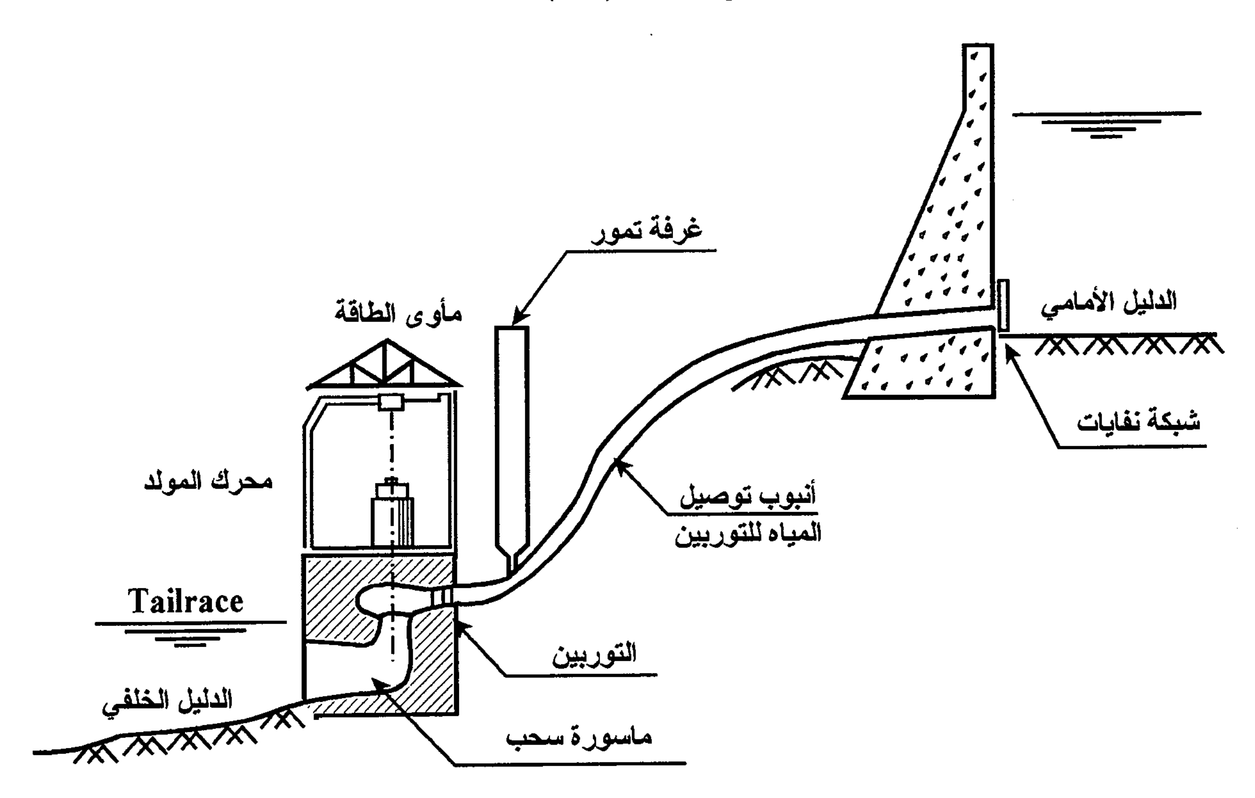
٨-٣ أنواع محطات الطاقة Types of Power Plants

- تتوقف أنواع محطات الطاقة على التصرفات والسقوط المائى المار فى المجرى الذى ستقام عليه المحطة ويمكن أن تصبح ذات أغراض متعددة أو ذات غرض واحد.
- ووفقا لشكل المنشأ لمأوى المحطات (العنابر) إما أن تكون المحطة داخلية Indoor أو خارجية Outdoor أو فوق سطح الأرض أو تحت سطح الأرض.
- عندما تكون سعة التخزين متاحة لتنظيم النهر فإنه يفضل تلاؤم محطة توليد الطاقة مع قاعدة منحنى الحمل The Base of the Load Curve وعندما يكون للمحطة ضاغط مياه وتصرف محددان معا فإنه غالبا ما يتم ملاءمتها مع ذروة منحنى الحمل.

٨-٣-١ العناصر الرئيسية المكونة لمحطة توليد القوى الكهرومائية

٨-٣-١-١ الدليل الأمامى The Forebay

يعتبر الدليل الأمامـــى بمثابة خزان محدد الســعات ويتم إنشــاؤه عند قمـــة قنوات توصيـــل المياه Penstocks للتوربين بتصرفات ثابتة. كما أن الغرض منه تخزين المياه المرتجعة عندما يقل الحمل على المحطة كما أنه يعمل على إمداد المياه عند بداية زيادة الحمل أثناء عملية تعجيل Acceleration المياه فى القناة أو خط الأنابيب. ويزود الدليل الأمامى بمفيض لإمكان التخلص من المياه الزائدة عندما يرتفع المنسوب المقرر للمياه وذلك حسب ما توضح بالشكل (٨-٢).



شكل (٨-٢) نموذج لأحد محطات الطاقة الكهرومائية (يبين العناصر الرئيسية لها)

٨-٣-١-٢ المآخذ Intakes

تزود المآخذ بشبكة نفايات Trash Racks لمنع دخول النفايات العائمة والمغمورة والتى تضر البوابات ودوارة التوربين Turbine Runners أو خنق Choke محرك التوربين مع وضع كتل خشبية عائمة "صاولات" لحجز أو إبعاد النفايات من بحيرة التخزين.

٨-٣-١-٣ أنابيب توصيل المياه Penstocks

- التصميم الإنشائى لأنابيب توصيل المياه هو نفس تصميم أى أنبوب مع الأخذ الجوهرى فى الاعتبار التصميم ضد المطرقة المائية Water Hammer وذلك بسبب إمكانية حدوث تغيير مفاجئ فى الحمل. وتصنع أنابيب التوصيل من الصلب أو الخرسانة المسلحة. ويفضل أن تكون أنابيب التوصيل منفصلة لكل توربين إذا كانت المسافة من الدليل الأمامى إلى مأوى المحطة قصيرة وتتفرع أنابيب التوصيل الطويلة عند نهايتها المنخفضة Lower End لتخدم عدة توربينات.
- تجهز أنابيب التوصيل ببوابات المدخل Head Gates عند الدليل الأمامى لإمكان قفلها تدريجيا للسماح بعمل الإصلاحات اللازمة لأنبوب التوصيل أو التوربينات. ومن الضرورى وجود صمام

دخول الهواء Air Inlet Valve فى الخلف من البوابة لمنع انهيار الأنبوب فجأة وبعد قفل البوابة مباشرة.

- يجب أن يكون عمق المياه كافيا فوق مدخل أنبوب التوصيل فى الدليل الأمامى لمنع تكوين الدوامات Vortices المحملة بالهواء والتى تعمل على خفض كفاءة التوربين مع إحداث تمورات ضغط Pressure Surges غير مرغوب فيها.
- أوضحت الخبرة العملية أن السرعة الاقتصادية للمياه فى أنابيب التوصيل الحديدية تتراوح بين (٣,٥ – ٦,٥) م/ث وبالنسبة لأنابيب الخرسانة المسلحة عادة ما تكون السرعة أقل من ذلك ويمكن استعمال عدة معادلات فى التصميم من واقع الفحوص الأولية .

$$V = 0.125\sqrt{2gh} \qquad (8\text{-}2)$$

$$D = \left(\frac{HP}{H}\right)^{0.466} \qquad (8\text{-}3)$$

حيث

V = سرعة المياه بأنابيب التوصيل م / ث

H = الضاغط بالمتر

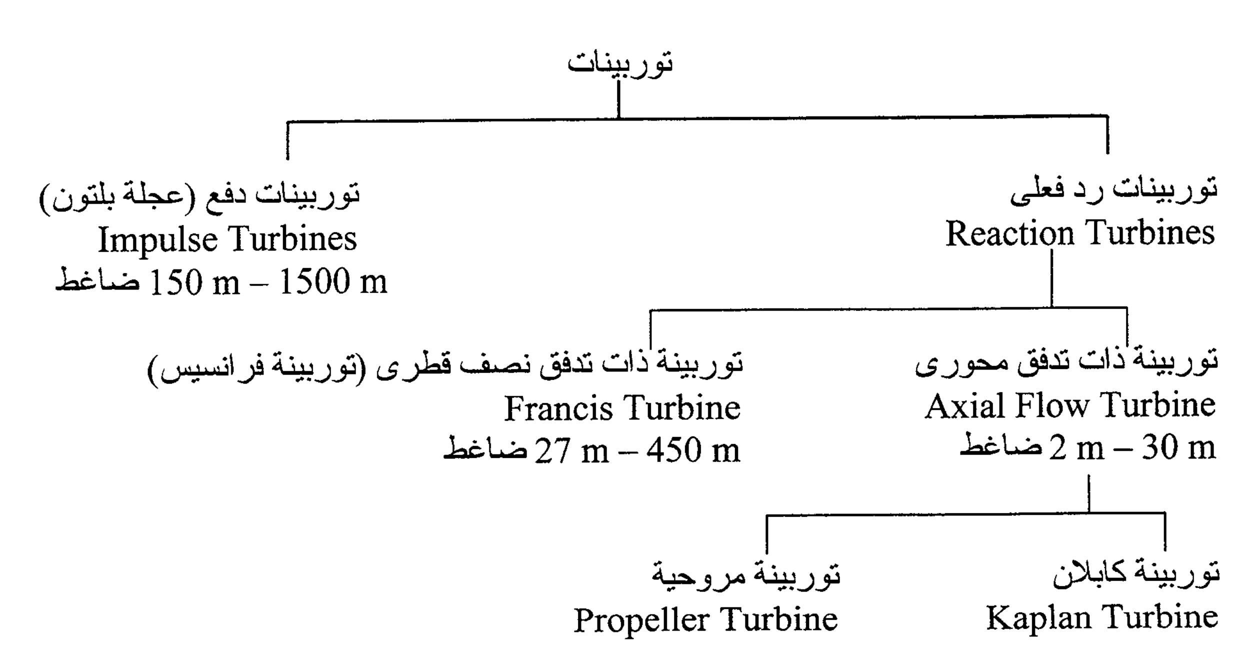
HP = القدرة بالحصان

D = القطر الداخلى لأنابيب التوصيل بالمتر

تزود أنابيب التوصيل عادة بصهاريج تمور علوية Surge Chamber لامتصاص ضغط المياه الناشئ عن (المطرقة المائية) المصاحب لزيادة الأحمال الفجائية. وفى حالة الأنابيب القصيرة يتم إلغاء صهاريج التمور والاعتماد على أنابيب ذات جدار سميك وصمامات قفل بطيئة Slow Closing Valves .

٨-٣-١-٤ التوربينات Hydraulic Turbines

تنقسم التوربينات إلى الأنواع التالية :



وعند تخطيط مشروع محطة كهرومائية يتم اختيار النوع الملائم للتوربين والسرعة المناسبة لتلائم الشروط المعطاة لسعة القدرة والضاغط المؤثر. ويتم تبسيط هذه الخطوة بإيجاد علاقة للمتغيرات الهامة وتعريف السرعة النوعية (NS) التى يمكن وضعها فى صورة معادلة كالتالى :

$$(NS)=\frac{NP^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{5}{4}}} \qquad (8\text{-}4)$$

حيث
N = عدد لفات التوربين لفة / دقيقة (r.p.m)
P = القدرة بالكيلووات (K.W)
H = الضاغط بالمتر
ويوضح الجدول (٨-١) القيم التقريبية لخواص التوربينات.

جدول (٨-١) القيم التقريبية لخواص التوربينات

نوع التوربين	السرعة النوعية	الضاغط (متر)
توربين دفع	١١ ـ ٢٧	١٥٠ ـ ١٥٠٠
توربين فرانسيس	٣٨ ـ ٤٢٠	٢٧ ـ ٤٥٠
توربين محورى	٤٢٠ - ١١٠٠	٢ - ٣٠

أولا : توربين دفع Impulse Turbine (عجلة بلتون)

هذا النوع يدور بواسطة قوة دفع نفاث حر Free Jet والذى يتصادم مع قواديس مركبة على حافة العجلة المائية ويستخدم هذا النوع فى حالة الضاغط العالى (١٥٠ ــ ١٥٠٠) متر والتصرف المنخفض. وقد تم تطوير هذه الآلات وكذا تطوير شكل فتحة الرشاش Nozzle والقواديس Buckets . وأثناء هذه العملية تكون المياه تحت ضغط جوى ويتم تزويد هذا النوع بمأوى Housing لمنع انتشار (طرطشة) المياه ولتوجيه التصرف فقط.

ثانيا : توربين رد فعلى Reaction Turbine

وينقسم إلى :

أ- توربين ذو تدفق محورى يشمل :

- التوربين المروحى Propeller Turbine .
- التوربين كابلان Kaplan Turbine .

والتوربين المروحى يزود بأغلفة حلزونية أو لولبية Spiral or Volute للضواغط العالية مصنوعة من الحديد الصلب.

والتوربين كابلان يعتبر جزءا هاما من هذا النوع والذى تكون فيه ريش الدوارة قابلة للدوران حول محورها على عمود رأسى مثبت فى الرأس الدوارة Hub وبذلك يمكن ضبط زاوية ميل الريش أثناء التشغيل ويتم الحصول على القوة الدوارة بدفع تيار المياه خلف ريش المروحة من ممر مغلق. ويتراوح عدد الريش بها بين (٤ – ٦) ريش ومصنوعة من صلب غير قابل للصدأ.

ب- توربين ذو تدفق نصف قطرى (توربين فرانسيس)

يحدث التدفق الكلى لهذا النوع من مياه الدليل الأمامى Head Water إلى مياه الدليل الخلفى Tail Water فى نظام وصلة عرضية مغلقة مقيدة من جميع الجوانب وليست مفتوحة للهواء عند أى نقطة وعند الدخول للدوارة يتحول جزء من الضاغط المتاح إلى طاقة حركة ويبقى الجزء الأخر فى صورة ضاغط مياه والذى يتغير فى كل مكان من ممرات التوربين. وتشغل توربينات فرانسيس على الضواغط من (٢٧ – ٤٥٠) متر.

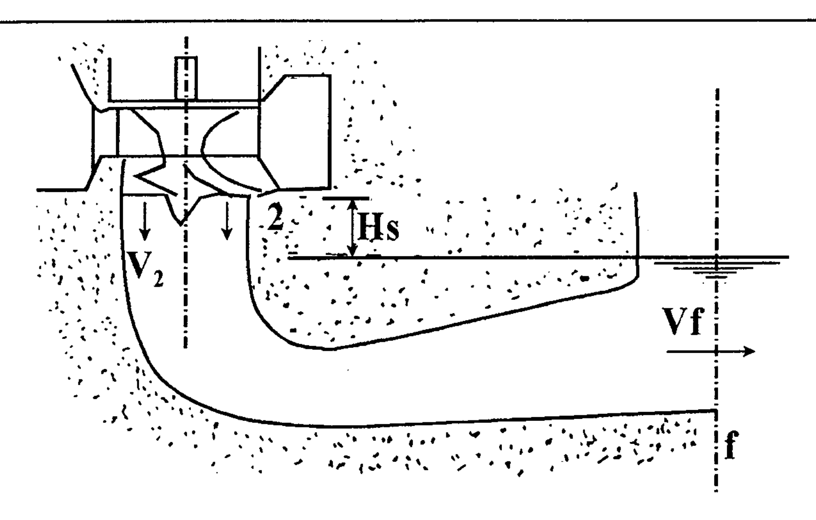
كما تم تطوير هذا النوع تدريجيا منذ بداية القرن العشرين ليحصل على قوة دوران بواسطة انحراف تيار المياه فى ممرات مغلقة مع استخدام رد الفعل الناتج. ويمكن تشغيل توربينات فرانسيس بكفاءة أكبر من (٩٠ %).

وتوربين فرانسيس يبدأ بشفة مأخذ غلاف التوربين Flange وينتهى عند قطاع الدليل الخلفى مباشرة خلف النهاية الطبيعية لأنبوب السحب وعلى ذلك يتكون التوربين من الغلاف casing ومراوح الاسترشاد Guide Vanes والدوارة Runner وأنبوب السحب Draft Tube .

ويوجد نوع حديث من التوربينات يسمى بالتوربينات الطوربيدية Bulb Shape وقد تم تنفيذ هذا النوع بالمحطة الكهرومائية الملحقة ضمن مشروع قناطر إسنا الجديدة على نيل مصر.

٨-٣-١-٥ أنابيب السحب Draft Tubes

تزود التوربينات الرد فعلية بأنابيب سحب تعمل كممر تحويلى للتصرفات Diverging Discharge Passage ليصل الدوارة بالدليل الخلفى. وقد يشكل لتقليل سرعة التيار بأقل فواقد بحيث يمكن استعادة طاقة الحركة المتبقية فى التيار عند تصريفها من الدوارة بكفاءة وتحويلها إلى ضاغط مص سلبى Suction Head ولزيادة فرق الضغط الكلى على الدوارة. وتعتبر الوظيفة الأولية لأنبوب السحب استعادة جزء من طاقة الحركة وتزود أنابيب السحب بمصرف تجفيف Un-watering Drain لإمكان تفريغها للإصلاحات مع وجود بوابة عند مخرج أنبوب السحب أو عندما يوجد الدليل الخلفى Tail Water Pond ويمكن استخدام أخشاب الغما Stoplogs أو قطاعات من البوابات الحديدية بين بغال الدليل الخلفى وذلك لغلق المياه أثناء تفريغ أنابيب السحب. وعادة ما يكون أنبوب السحب جزءا أساسيا فى تركيب التوربين كما أنه ينظم عمل الدوارة. والشكلان (٨-٢) ، (٨-٣) يوضحان نماذج لأنبوب السحب فى محطة توليد القوى الكهرومائية.



شكل (٨-٣) أنبوب السحب التوربيني

٨-٣-١-٦ الدليل الخلفى Tail Water Pond

- الدليل الخلفى عبارة عن مجرى لتصريف المياه بعد مرورها على التوربينات . وإذا كانت محطة توليد الطاقة قريبة من المجرى فإن التدفق الخارج يمكن تصريفه مباشرة إلى المجرى
- عندما يكون الدليل الخلفى غير مبطن فإن القاع يتعرض إلى النحر مما يسبب انخفاضا فى منسوب المياه بالخلف . وفى بعض الحالات عندما يزيد الانخفاض إلى نقطة أسفل منسوب قمة مخرج أنبوب السحب فإن كفاءة التوربين تقل وعلى ذلك يلزم إنشاء هدار حر فى الدليل الخلفى عند المنسوب التصميمى لزيادة عمق المياه الخلفية مرة أخرى إلى وضعه الطبيعى . وقد يحدث أحيانا إطماء فى الدليل الخلفى للمجرى بزيادة عمق المياه مما ينتج عنه نقص فى الضاغط الإجمالى (Gross Head) عند المحطة ولمعالجة هذه الظاهرة يتم إزالة المواد المترسبة بتطهيرها بالتجريف By Dredging أو بوسيلة أخرى.
- غالبا ما تحدث مشاكل للمحطات تحت الأرض فى التصميم الهيدروليكى وفى بعض الحالات يتم تصريف أنبوب السحب داخل نفق أفقى ذى سطح حر ولا يحتاج فى هذه الحالة إلى صهريج تمور " Surge Tank " وفى حالات أخرى يوجد الدليل الخلفى بنفق ضغط وصهريج تمور منتظم . وفى هذه الحالة يستخدم الجزء الخلفى من النفق كدليل خلفى.

٨-٣-١-٧ اختيار النوع المناسب للتوربينات

لتحقيق الغرض المطلوب فإنه يجب دراسة الخطة المائية بأكملها وفقا لمتطلبات الطاقة وعلاقتها مع المحطات الأخرى للتوسع المستقبلى والإمكانيات المادية المتاحة والشروط الطبيعية وإمكانيات التخزين والخواص المناخية ....الخ ويؤخذ القرار النهائى لجميع هذه العوامل فى الاعتبار عند اختيار نوع التوربينات المناسب وهو ما يسمى بدراسات الجدوى للمشروع

٨-٤ معايير التصميم لمحطات توليد القوى الكهرومائية

٨-٤-١ الحسابات الإنشائية

حسابات العزوم وقوى القص والقوى المحورية فى الإنشاءات تتم طبقا لنظريات المرونة وتطبيقاتها.

٨-٤-٢ الحسابات الهيدروليكية

تستخدم معادلة "ماننج " فى حسابات متوسطات سرعة المياه سواء فى القطاعات المفتوحة أو المغلقة.

$$V = MR^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}} \qquad (8-5)$$

حيث

$V =$ سرعة المياه م / ث

$M = \frac{1}{n} =$ رقم "ماننج" حسب الجدول (٨-٢)

$R =$ نصف القطر الهيدروليكى بالمتر

$i =$ خط الانحدار الهيدروليكي

جدول (٨-٢) قيم رقم M

نوع المادة	قيم M (سطح خشن)	قيم M (سطح أملس)
ماسورة حديد جديدة	٧٠	٩٠
ماسورة زهر مسفلتة من الداخل	٧٥	٩٥
ماسورة من الطمى (فخار) مزججة	٦٠	٩٠
أسطح حديدية ممحورة	٨٥	١٠٠
أسطح خرسانية ممحورة	٦٥	٧٥
أسطح خرسانية تم صبها فى فرم حديدية	٨٠	٩٠
أسطح خرسانية تم صبها فى فرم خشبية	٦٥	٨٥
قنوات تم حفرها بالنسف	٢٠	ــــ
قنوات مائية طبيعية	١٢ ــ ٤٥	ــــ

٨-٤-٣ افتراضات الأحمال للحسابات الإنشائية

الأحمال المؤثرة على المنشأ يمكن تقسيمها إلى :

- أحمال عادية.
- أحمال ثانوية Secondary Loads .
- أحمال قصوى Extreme Loads .

ويمكن تصنيف هذه الأحمال طبقا للجدول (٨-٣) التالى :

جدول (٨-٣) تصنيف الأحمال للحسابات الإنشائية

أحمال قصوى	أحمال ثانوية	أحمال عادية
* ضغط المياه الأقصى Flood Water Pressure - بالأمام - بالخلف - العلو Uplift	* أحمال ناجمة عن درجات الحرارة Temperature Loads - الصيف : هواء طلق + ٤٠ ^{0}م هواء مغلق + ٣٠ ^{0}م مياه + ٣١ ^{0}م - الشتاء : هواء طلق + ١٠ ^{0}م هواء مغلق + ٢٠ ^{0}م مياه + ٢١ ^{0}م - خرسانة مصبوبة حديثا : Newly Placed Concrete قصوى Max + ٢٧ ^{0}م * أحمال ناجمة عن تأثير الرياح وتؤخذ من الكود المصرى لحساب الأحمال والقوى فى الأعمال الإنشائية وأعمال المباني * ضغط المياه الثانوى بالأمام والخلف * العلو الثانوي * الإنكماش والإنتفاخ * أحمال التشييد * أحمال الزلازل	* أحمال مستديمة Permanent Loads - وزن المنشأ - ضغط التربة - ضغط المياه (الخلف – الأمام) - العلو Uplift * أحمال تشغيلية Operational Loads - أحمال حية - أحمال مستقبلية متوقعة Expected Loads - أحمال حية من عربات وأوناش مثل أحمال التلفريك والأوناش المتحركة وأحمال النقل والتشييد * ضغط التربة من حركة المرور * تأثير المطرقة المائية Water Hammer Effect

أحمال قصوى	أحمال ثانوية	أحمال عادية
	Earthquake Loads وتؤخذ من الكود المصرى لحساب الأحمال والقوى فى الأعمال الإنشائية وأعمال المباني	

٨-٤-٣-١ الأحمال العادية

تنقسم الأحمال العادية إلى أحمال مستديمة وأحمال تشغيلية مؤقتة.

* الأحمال المستديمة

وزن المنشأ ويحسب طبقا للجدول (٣-١) من الكود المصرى لحساب الأحمال والقوى فى الأعمال الإنشائية وأعمال المبانى.

ضغط التربة على المنشآت الرأسية وتحسب هذه الضغوط باعتبار ما يلى :

- تربة جافة ورمل بوزن ١,٨٠ طن / م^3 بزاوية سكون Angle of Repose ٣٥° .
- تربة مغمورة تحت منسوب الماء الأرضى بوزن ١,١٠ طن / م^3 بزاوية سكون ٣٥° .

ضغط المياه :

تحسب ضغوط المياه على أساس مناسيبها الشاذة والقصوى فى الجهة الأمامية للمنشأ والجهة الخلفية منه.

* الأحمال التشغيلية Operational Loads

أحمال حية :

وتحسب طبقا للجدول (٤-١) من الكود المصرى لحساب الأحمال والقوى فى الأعمال الإنشائية وأعمال المبانى.

ملاحظة :

الأحمال الممركزة والأحمال الموزعة تؤخذ فى الاعتبار معا.

* أحمال مستقبلية متوقعة Expected Loads

رسومات التشغيل يجب أن تشير إلى مساحات معينة لوضع المهمات الثقيلة بشكل مدروس.

مهمات ذات أحمال حية من عربات وأوناش

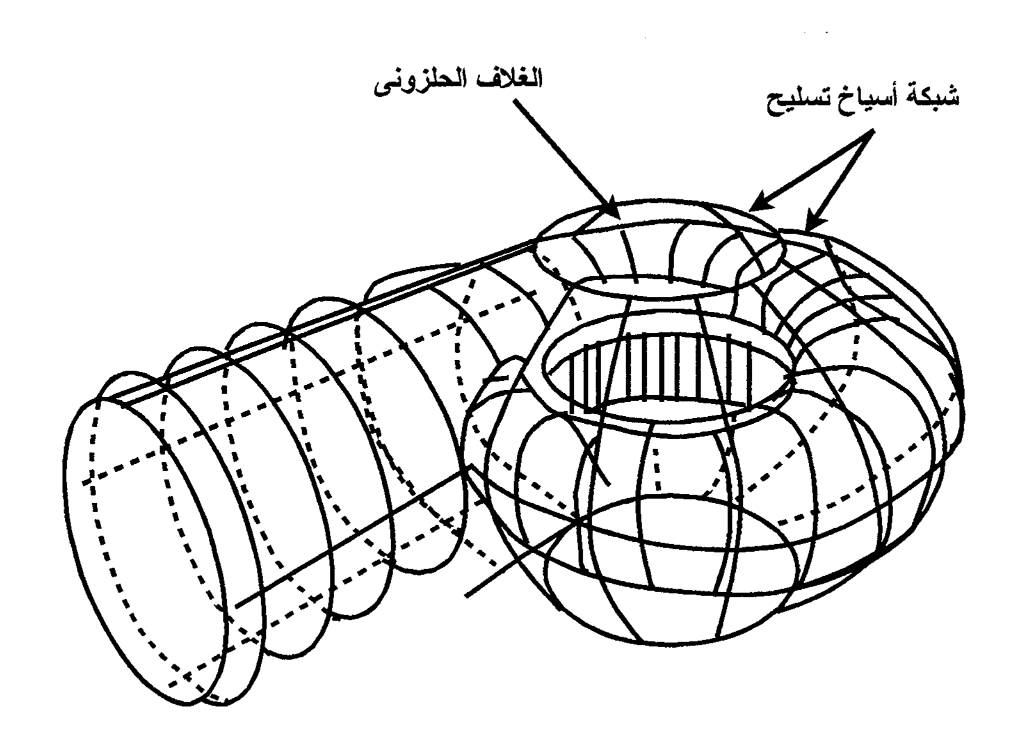
يكون تصميمها رأسيا وأفقيا طبقا لبيانات موردى الأجهزة والمهمات.

ضغوط التربة نتيجة لحركة المرور

يتم تصميم محطات القوى بالنسبة إلى ضغوط التربة نتيجة لحركة المرور .... الخ مقابل أحمال موزعة على مساحات تحيط بمحطة القوى بمقدار ٢٠ كيلو نيوتن / م^2 .

تأثير المطرقة المائية Water Hammer Effect

يضاف طرق الماء بمقدار ≅ ٥ متر عند تصميم الغلاف الحلزونى الخرسانى وهذه الزيادة تنتهى عند طرف الحلزون لتصبح صفرا فى خط مع أخشاب المأخذ Intake Stop Logs وتسليح الخرسانة الحلزونية حسب ما توضح بالشكل (٨-٤).



شكل (٨-٤) مبدأ التسليح الحلزونى لمقاومة تأثير المطرقة المائية

٨-٤-٣-٢ الأحمال الثانوية Secondary Loads

* الأحمال الناجمة عن درجات الحرارة Temperature Loads

الانفعالات التى تسببها تغيرات درجة الحرارة بمقدار الوحدة تحسب تحت الافتراضات التالية :

الانفعال فى الخرسانة ($e_{cone} = 1.4 \times 10^{-5}$)

الانفعال فى الحديد ($e_{steel} = 1.2 \times 10^{-5}$)

وتؤخذ درجات الحرارة المذكورة بالجدول (٨-٣) .

* الأحمال الناجمة عن تأثير الرياح Wind Loads

الأحمال الناجمة عن تأثير الرياح على الحوائط والأسطح تحسب طبقا للكود المصرى لحساب الأحمال والقوى فى الأعمال الإنشائية وأعمال المبانى.

* الانكماش والانتفاخ Shrinkage and Swelling

الانكماش فى الهواء يفترض أن يقل عند درجة حرارة (١٥م) هذا إذا لم تؤخذ الاحتياطات لتقليل تأثيره.

الانتفاخ فى الماء يفترض أن يقاس عند ارتفاع فى درجة الحرارة مقداره خمسة درجات(٥م) ويؤخذ الانكماش والانتفاخ فى التقدير إذا كان هذا يؤدى إلى زيادة الاجهادات.

* أحمال التشييد

أحمال المعدات المستخدمة فى تنفيذ الأعمال المدنية تؤخذ على اعتبار أنها ثانوية ويستثنى من ذلك نقليات المهمات الثقيلة وكذا أحمال التلفريك والأوناش المتحركة والتى سبق اعتبارها ضمن أحمال التشغيل.

٨-٤-٣-٣ الأحمال القصوى Extreme Loads

ويقصد بها ضغط المياه الأقصى سواء بالامام أو الخلف وأيضا العلو الأقصى ويحدث ذلك وقت الفيضان.

٨-٤-٣-٤ حالات التحميل التصميمية

يوضح الجدول (٨-٤) حالات التحميل التى يجب آخذها فى الاعتبار عند تصميم محطات توليد القوى الكهرومائية.

جدول (٨-٤) حالات التحميل التصميمية Design Load Cases

الأحمال القصوى	الأحمال الثانوية					أحمال عادية		أشكال التصميم Design Class	حالات التحميل Load Cases
ضغط مياه قصوى	أحمال التشييد	الانكماش والانتفاع	ضغط المياه الثانوى والعلو الثانوي	أحمال ناجمة عن الرياح أو الزلازل	أحمال ناجمة عن الحرارة	أحمال تشغيلية	أحمال مستديمة		
	X	X		X	X	X	X	ثانوي Secondary	١- مرحلة التشييد construction Stage
	X	X	X	X	X	X	X	غير عادى	٢- مرحلة التشغيل أ- تشغيل عادى ب- تشغيل عادى متضمن أحمال غير عادية
X				X		X	X	قصوى	٣- حالات قصوى أ- فيضان المياه ب- الزلازل

٨-٤-٤ إجهادات التصميم

٨-٤-٤-١ نوعيات المواد

رتب الخرسانة التى تستعمل هى تلك الواردة فى الجدول (٢-٢) من البند (٢-٣-٢) من الكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة ويخضع التسليح للبند (٢-٢-٥) من الكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة ويوضح الجدول (٢-١) فى هذا البند الخواص الميكانيكية لأنواع الصلب (الحد الأدنى).

٨-٤-٤-٢ الاجهادات المسموح بها

تتبع إجهادات التشغيل للخرسانة وصلب التسليح الواردة بالجدول (٥-١) من البند (٥-٢) بالكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة.

٨-٤-٥ حسابات الإتزان Stability Calculation

٨-٤-٥-١ الإتزان فى محطات القوى

مراجعة إتزان محطات القوى بالنسبة إلى الانقلاب والانزلاق Overturning and Sliding وذلك باعتبار ما يلى :

- وزن الخرسانة = ٢,٤ طن / م٣ .
- محطات القوى مفرغة من الآلات والأجهزة والمياه.
- أقصى منسوب بالأمام.
- منسوب الخلف.
- الطمو Uplift .

٨-٤-٥-٢ إتزان سد الدليل الأمامى Forebay

مراجعة إتزان سد الحوض الأمامى للمحطة بالنسبة للانقلاب والانزلاق وذلك باعتبار ما يلى :

- وزن الخرسانة = ٢,٤ طن / م٣ .
- وزن مبانى الدبش = ٢,٥ طن / م٣ .
- الردم فى الجزء الخلفي حتى منسوب معين خلف الحوض ووزن التربة أعلى منسوب المياه الأرضية = ١,٨ طن / م٣ .
- وزن التربة شاملة المياه أسفل منسوب المياه الأرضية = ٢,١ طن / م٣ .
- ضغط التربة يحسب على أساس ضغط التربة فى سكونها.
- العلو Uplift .
- منسوب المياه بالأمام .... (إحتسابه بالتوالي).
- منسوب المياه بالخلف ....(يختار ليعطى أقصى حمل).

٧-٩ المراجع

1. Arndt, R.E., “Hydropower Engineering Hanbook”, McGraw-Hill, NewYork, U.S.A, (1990).
2. Fritz, J. (Editor), ”Small and Mini Hydropower Systems”, McGraw-Hill, New York, USA, (1984).
3. Gulliver, J. S. (Editor), ”Hydropower Engineering Handbook”, McGraw-Hill, NewYork, USA, (1991).
4. Leliavsky, Serge, “Hydroelectric Engineering for Civil Engineers”, Chapman and Hall, London, UK, (1982).
5. May, L.W., “Water Resources Engineering”, John Wiley & Sons, NewYork, USA, (2001).
6. Novak, P., Moffat, A.I., Malluri, C. and Marayanan, R., “Hydraulic Structures”, E&FN Spon, London, UK. (1996).
7. Sassman, J. F.,Cheremisinoff, P.N. and Ouellette, R.P., “Low Head Hydropower”, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, (1983).
8. Warnick, C.C., “Hydropower Engineering”, Prentice Hall, New Jersey, USA, (1983).